



TUGAS AKHIR – TM 091486

**UJI UNJUK KERJA DAN DURABILITY 5000 KM MOBIL  
BENSIN 1497 CC BERBAHAN BAKAR CAMPURAN  
BENSIN-BIOETANOL**

PASCA H. WINANDA

NRP. 2111 100 161

Pembimbing:

Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT – TM091486

**PERFORMANCE TEST AND DURABILITY TEST 5000  
KM FOR GASOLINE CAR 1497 CC WITH GASOLINE -  
BIOETHANOL MIXTURE**

PASCA H. WINANDA

NRP. 2111 100 161

Supervisor:

Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

**UJI UNJUK KERJA DAN DURABILITY  
5000 KM MOBIL BENSIN 1497 CC  
BERBAHAN BAKAR CAMPURAN BENSIN-  
BIOETANOL  
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Konversi Energi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh :

**PASCA H. WINANDA**  
NRP. 2111 100 161

Disetujui oleh Tim Penguji Proposal Tugas Akhir

1. Dr. Bambang Suparmananta, ST., MT.  
.....(Pembimbing)  
(NIP. 197301161997021001)
- Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT  
.....(Penguji I)  
(NIP. 197104051997021001)
- Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST.  
M.Eng.  
.....(Penguji II)
4. Ir. Kadarisman  
.....(Penguji III)  
(NIP. 194901091974121001)



**SURABAYA  
JANUARI, 2016**

# **UJI UNJUK KERJA DAN DURABILITY 5000 KM MOBIL BENSIN 1497 CC BERBAHAN BAKAR CAMPURAN BENSIN-BIOETANOL**

**Nama Mahasiswa** : PASCA HARIYADI WINANDA  
**NRP** : 2111100161  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing:** Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.

## **ABSTRAK**

Ketergantungan manusia terhadap energi tak terbarukan semakin lama semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi manusia. Padahal ketersediaan energi tak terbarukan semakin lama akan semakin terkuras. Maka dari itu keterbutuhan pengembangan energi terbarukan dewasa ini menjadi sangat penting. Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi dikembangkan di tanah air ialah etanol. Ethanol memiliki karakteristik yang mirip dengan Premium dengan nilai RON sebesar 108. Dalam penelitian ini, ingin diketahui karakteristik unjuk kerja serta emisi gas buang mesin bensin menggunakan bahan bakar campuran ethanol 99.5% dengan premium setelah uji durability selama 5000 KM. Dalam penelitian ini pula ingin diketahui pengaruh pemakaian campuran ethanol 99.5% dengan premium pada ruang bakar dan minyak pelumas setelah digunakan selama 5000 KM.

Pengujian dilakukan dengan uji durability mobil sejauh 5000 km dengan bahan bakar campuran ethanol dan bensin dengan variasi campuran ethanol sebesar 5%, 10%, dan 15%, pengukuran meliputi kandungan minyak pelumas dan visualisasi ruang bakar. Selanjutnya dilakukan pengujian di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dengan menggunakan mesin bensin empat langkah Toyota Vios dengan variasi campuran ethanol sebesar 5%, 10%, dan 15% dengan putaran mesin 3000 hingga 6000 rpm. Pengukuran meliputi torsi, daya, waktu konsumsi bahan bakar,  $T_{oli}$ ,  $T_{radiator}$ , dan  $T_{exhaust}$  serta emisi gas HC, CO dan  $CO_2$ .

*Hasil uji eksperimental menunjukkan penambahan bioetanol pada bahan bakar bensin premium cenderung meningkatkan densitas dan viskositas tetapi menurunkan nilai kalor. Sedangkan unjuk kerja cenderung mengalami peningkatan performa dan terjadi penurunan emisi. Torsi, daya dan bmep tertinggi didapatkan oleh campuran E10 dengan kenaikan masing-masing sebesar 2,40%, 2,94% dan 2,72% dibandingkan dengan premium. Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) terendah didapatkan oleh campuran E10 dengan penurunan sebesar 4,14% dibandingkan dengan premium. Karakteristik minyak pelumas untuk bahan bakar E5, E10 dan E15 relatif stabil seperti bahan bakar premium. Pencampuran bioetanol pada premium cenderung menurunkan suhu operasional mesin, yaitu mencapai 3,02% pada campuran 15%. Untuk visualisasi ruang bakar pemakaian bahan bakar E5, E10 dan E15 menghasilkan pengotoran relatif lebih tipis dibandingkan bahan bakar premium. Secara keseluruhan penambahan bioetanol sampai 15% tidak mengalami perubahan pada kondisi operasional mesin.*

***Kata Kunci: energi terbarukan, ethanol, premium, durability, unjuk kerja***

## **PERFORMANCE TEST AND DURABILITY TEST 5000 KM FOR GASOLINE CAR 1497 CC WITH GASOLINE - BIOETHANOL MIXTURE**

**Student Name : PASCA HARIYADI WINANDA**  
**NRP : 2111100161**  
**Major : Mechanical Engineering FTI-ITS**  
**Supervisor : Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.**

*Human dependence on non-renewable energy progressively increasing along with increasing human population. Though the availability of non-renewable energy the longer will be depleted. Therefore the needs for renewable energy development energy today is very important. One of the renewable energy sources are likely to be developed in the country is ethanol. Ethanol has characteristics similar to Premium with a RON value of 108. In this study, we want to know the performance characteristics and exhaust emissions of gasoline engines using fuel with a mixture of ethanol 99.5% premium after durability test during the 5000 KM. In this study also wanted to know the effect of the use of a mixture of ethanol 99.5% with a premium on space fuel and lubricating oil after being used for 5000 KM.*

*Experiment conducted with a durability test car as far as 5,000 km with a fuel mixture of ethanol and gasoline with ethanol mixture variation of 5%, 10% and 15%, measurements covering the content of lubricating oils and visualization of the combustion chamber. Further testing performed at the Laboratory of Combustion and Fuels Engineering Department of Mechanical Engineering FTI-ITS using four-stroke gasoline engine Toyota Vios with a mixture of ethanol variation of 5%, 10%, and 15% with 3000 engine rev up to 6000 rpm. Measurements include*

*torque, power, fuel consumption time, T oil, radiator T, and T and the exhaust gas emissions of HC, CO and CO<sub>2</sub>.*

*Experimental test results showed the addition of fuel bioethanol in gasoline tends to increase the density and viscosity, but decrease in calorific value. Meanwhile, the performance tends to increase performance and decrease emissions. Torque, power and highest BMEP obtained by a mixture of E10 with each increment of 2.40%, 2.94% and 2.72% compared to the premium. While the specific fuel consumption (sfc) Lowest obtained by a mixture of E10 with a decrease of 4.14% compared to the premium. Characteristics of lubricating oil to fuel E5, E10 and E15 are relatively stable as premium fuel. Mixing bioethanol at a premium tends to lower the operating temperature of the engine, which reached 3.02% in campuaran 15%. For visualization of the combustion chamber fuel E5, E10 and E15 generate fouling relatively thinner than premium fuel. Overall the addition of bioethanol to 15% no change in the operational condition of the engine.*

***Keywords: renewable energy, ethanol, premium, durability, performance***

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	5
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	6
1.5. Manfaat hasil Penelitian.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1. Siklus Motor Bensin Empat Langkah.....	7
2.1.1. Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah .....	9
2.1.2. Proses Pembakaran Motor Bensin 4-langkah.....	11
2.2. Bahan Bakar Gasoline.....	12
2.2.1 Bioetanol.....	12
2.2.2 Karakteristik Bahan Bakar Gasoline.....	14
2.3. Performa Mesin Bensin.....	21
2.3.1 Parameter unjuk kerja motor bensin.....	21
2.4. Polusi Udara.....	26
2.4.1 Hidrokarbon(HC).....	27
2.4.2 Karbon monoksida (CO).....	29
2.5. Penelitian Terdahulu.....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
3.1. Peralatan Uji.....	37



3.1.1. Engine Test .....	37
3.1.2 Alat Ukur.....	38
3.1.3 Peralatan Bantu.....	41
3.2 Bahan Bakar.....	42
3.3 Prosedur Pengujian.....	42
3.3.1 Skema Peralatan Uji.....	42
3.3.2 Tahapan Pengujian.....	43
3.4 Rancangan Eksperimen.....	48
3.5 Diagram Alir (Flow Chart) Penelitian.....	49

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....53**

4.1 Hasil Pengujian Properties Bahan Bakar.....	53
4.1.1 Densitas.....	53
4.1.2 Viskositas.....	55
4.1.3 Nilai Kalor.....	56
4.2 Hasil Uji Unjuk Kerja.....	58
4.2.1 Torsi dan Daya.....	59
4.2.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	80
4.2.3 Efisiensi Termal.....	85
4.2.4 Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP).....	87
4.3 Analisis Emisi Gas Buang.....	90
4.4 Analisis Suhu.....	94
4.4.1 Suhu Oli Pelumas.....	94
4.4.2 Suhu Gas Buang.....	96
4.5 Karakteristik Minyak Pelumas.....	97
4.6 Visualisasi Pengotoran pada Ruang Bakar.....	102
4.6.1. Visualisasi Pengotoran pada Casing Samping.....	103
4.6.2. Visualisasi Pengotoran pada Piston & Combustion Chamber.....	105
4.6.3. Visualisasi Pengotoran pada Cylinder Head Pandangan Atas.....	107
4.6.4 Visualisasi Pengotoran pada Cylinder Head Pandangan Bawah.....	109
4.6.5 Visualisasi Pengotoran pada Busi.....	111
4.7 Rekapitulasi Hasil Uji Durability 5000 km.....	112

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>117</b>
5.1 Kesimpulan.....	117
5.2 Saran .....	119
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xxv</b>

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1.1.	Roadmap Energi Terbarukan Nasional...3
Tabel 2.1	Properties Ethanol.....13
Tabel 2.2	Perbandingan ethanol dan Premium...13
Tabel 3.1	Parameter penelitian.....48
Tabel 4.1.	Properties bahan bakar uji.....53
Tabel 4.2.	Properties minyak pelumas mesin bensin jenis PRIMA XP SAE 20W-50.....98
Tabel 4.3	Properties minyak pelumas mobil bensin setelah 5000 km.....98
Tabel 4.4	Properties minyak pelumas mobil bensin bioetanol setelah 5000 km.....99

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1	Proses 4 langkah mesin bensin.....7
Gambar 2.2	Diagram P–V siklus ideal pada motor bensin 4 langkah.....9
Gambar 2.3	Tahapan Pembakaran pada motor bensin.....11
Gambar 2.4	Mekanisme terbentuknya polutan HC, CO,dan NOX pada mesin SI.....16
Gambar 2.5	Perbandingan unjuk kerja Sepeda Motor 4 Langkah 1 Silinder Fuel Injection 125 cc terhadap Variasi Campuran Premium-Ethanol.....20
Gambar 2.6	Perbandingan unjuk kerja penambahan Bioethanol pada Bahan Bakar Pertamina terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin.....27
Gambar 2.7	Gambar 2.7 Perbandingan unjuk kerja Sepeda Motor 4 Langkah 1 Silinder Fuel Injection 125 cc terhadap Variasi Campuran Premium-Ethanol.....32
Gambar 2.8	Perbandingan unjuk kerja mesin bensin empat langkah 2 silinder 650cc dengan variasi campuran ethanol sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% .....35
Gambar 3.1	Mobil Uji.....38
Gambar 3.2	Dynamometer.....39
Gambar 3.3	AFR Analyzer .....39
Gambar 3.4	Tabung ukur waktu konsumsi bahan bakar..... 40
Gambar 3.5	Stop Watch.....40
Gambar 3.6	Exhaust Gas Analyzer.....41
Gambar 3.7	Thermocouple digital.....41
Gambar 3.8	Blower Axial.....42
Gambar 3.9	Skema Pengujian.....43

Gambar 4.1.	Densitas campuran premium-etanol dalam beberapa hasil penelitian.....	55
Gambar 4.2	Perbandingan Viskositas Kinematik....	56
Gambar 4.3	Nilai kalor beberapa jenis campuran bensin dan bioetanol.....	58
Gambar 4.4.	Unjuk kerja daya & torsi mobil 1 berbahan bakar bensin pada kondisi awal.....	60
Gambar 4.5.	Unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar E5 pada kondisi awal.....	61
Gambar 4.6.	Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin dan E5 pada kondisi awal.....	62
Gambar 4.7.	Komparasi unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin dan E5 setelah 5.000 km.....	64
Gambar 4.8.	Unjuk kerja daya & torsi mobil 2 berbahan bakar bensin pada kondisi awal.....	67
Gambar 4.9.	Unjuk kerja daya dan torsi mobil 2 berbahan bakar E10 pada kondisi awal.....	68
Gambar 4.10.	Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 2 berbahan bakar bensin dan E10 pada kondisi awal.....	69
Gambar 4.11.	Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 2 berbahan bakar bensin dan E10 setelah 5000 km.....	70
Gambar 4.12.	Unjuk kerja daya & torsi mobil 3 berbahan bakar bensin pada kondisi awal.....	74
Gambar 4.13.	Unjuk kerja daya dan torsi mobil 3 berbahan bakar E15 pada kondisi awal.....	75
Gambar 4.14.	Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 3 berbahan bakar bensin dan E15 pada kondisi awal.....	76
Gambar 4.15.	Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 3 berbahan bakar bensin dan E15 setelah 5000 km. ....	78
Gambar 4.16.	Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik mobil uji.....	80

Gambar 4.17.	Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik mobil 2 setelah uji durability.....	82
Gambar 4.18.	Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik mobil 3 setelah uji durability.....	84
Gambar 4.19	Perbandingan efisiensi thermal.....	85
Gambar 4.20	Tekanan Efektif Rata-Rata sebelum 5000 km.....	87
Gambar 4.21	Tekanan Efektif Rata-Rata setelah 5000 km.....	90
Gambar 4.22.	Besarnya Emisi CO Mobil uji.....	91
Gambar 4.23.	Besarnya Emisi HC Mobil uji....	93
Gambar 4.24.	Besarnya suhu oli pelumas fungsi putaran mesin.....	95
Gambar 4.25.	Besarnya suhu oli exhaust gas fungsi putaran mesin.....	96
Gambar 4.26	Visualisasi pengotoran pada casing sumping.....	103
Gambar 4.27	Visualisasi pengotoran pada piston dan combustion chamber.....	105
Gambar 4.28	Visualisasi pengotoran pada Cylinder Head Pandangan Atas.....	107
Gambar 4.29	Visualisasi Pengotoran pada Cylinder Head Pandangan Bawah.....	109
Gambar 4.30	Visualisasi Pengotoran pada Busi.....	111
Gambar 4.31	Rekapitulasi Hasil Uji Durability 5000 km E5.....	114
Gambar 4.32	Rekapitulasi Hasil Uji Durability 5000 km E10.....	115
Gambar 4.33	Rekapitulasi Hasil Uji Durability 5000 km E15.....	116

## DAFTAR SIMBOL

T	torsi, Nm, lbf ft
$\omega$	kecepatan sudut, 1/s
n	frekuensi putaran, rpm
bhp	daya efektif motor, Watt
z	konstanta pembagi
F	gaya, N
Pr	tekanan, N/m <sup>2</sup>
A	luasan piston, m <sup>2</sup>
L	panjang langkah, m

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Ketergantungan manusia terhadap energi tak terbarukan semakin lama semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi manusia. Ditambah lagi belum optimalnya penggunaan energi terbarukan menyebabkan manusia sulit untuk lepas dari ketergantungan terhadap energi tak terbarukan. Konsekuensinya adalah semakin menipisnya cadangan energi tak terbarukan tersebut. Bahkan diperkirakan dunia akan mengalami krisis besar energi pada tahun 2050 saat cadangan minyak bumi dan batu bara yang terkandung dalam perut bumi habis. Selain itu, dampak dari energi fosil yang menimbulkan gejala green house effect pada bumi semakin terasa, sebagai akibat dari meningkatnya kadar CO<sub>2</sub> yang terkandung dalam atmosfer. Di Indonesia sendiri dengan jumlah penduduk dan jumlah kendaraan bermotor yang mengalami pertambahan setiap tahunnya, konsumsi energi meningkat 7% tiap tahunnya dan pertambahan konsumsi energi tersebut didominasi oleh konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak) sebesar 54%. Cadangan minyak bumi di Indonesia pun cenderung semakin turun sedangkan konsumsi semakin



meningkat. Hal ini yang mengakibatkan Indonesia sudah menjadi negara net importer yang berarti bahwa konsumsi bahan bakar minyak Indonesia sebagian besarnya dipasok dari negara lain. Ketergantungan terhadap BBM yang berasal dari negara lain selain membebani anggaran negara juga akan mengganggu pasokan keamanan energi nasional.

Oleh karena itu, sesuai dengan Undang-Undang energi No. 30 Tahun 2007, maka pemerintah membuat kebijakan pengembangan dan penggunaan energi yang diarahkan kepada usaha-usaha sebagai berikut: (a) mengembangkan eksplorasi produksi dan (b) konservasi energi (optimalisasi produksi) pada sisi penyediaan, (c) diversifikasi dan (d) energi efisiensi pada sisi pemanfaatan energi. Dalam mengimplementasikan kebijakan tersebut juga didorong harga energi ke arah harga ke-ekonomian secara bertahap dengan mempertimbangkan faktor lingkungan.

Berdasarkan peraturan tersebut, pemerintah telah membuat roadmap yang jelas terkait diversifikasi energi dengan mencanangkan BBN (Bahan Bakar Nabati) sebagai pengganti BBM, seperti yang tertera pada tabel. Guna menyikapi dan mendukung berjalannya roadmap yang telah dibuat, pemerintah mendirikan pabrik bioetanol, PT Energi Agro Nusantara (Enero) dengan kapasitas sebesar

100 ribu kiloliter per hari. Dengan berdirinya pabrik bioethanol yang berbahan dasar molases ini diharapkan dapat memenuhi kuota bioethanol dalam negeri yang nantinya dicampurkan dengan premium Pertamina, sesuai dengan yang tertuang dalam UU Energi No.30 2007. Namun dengan berbagai macam kendala, baik itu dari sisi teknis maupun dari segi kebijakan pemerintah, mengakibatkan pengembangan bioethanol ini masih jalan di tempat. Bahkan karena tidak terserapnya produksi bioethanol oleh Pertamina, PT Enero mengeksplor bioethanol ke sejumlah negara.

**Tabel 1.1** Roadmap Energi Terbarukan Nasional <sup>[1]</sup>

	2005-2010	2011-2015	2016-2025
Bioethanol	5% dari konsumsi 1,48 juta KL	10% dari konsumsi 2,78 juta KL	15% dari konsumsi 6,28 juta KL
Biodiesel	10% dari konsumsi 2,41 juta KL	15% dari konsumsi 4,52 juta KL	20% dari konsumsi 10,22 juta KL
BioKerosine	1 juta KL	1,8 juta KL	4,07 juta KL
Bio nabati murni untuk pembangkit listrik	0,4 juta KL	0,74 juta KL	1,69 juta KL
Biofuel	2% dari konsumsi 5,29 juta KL	3% dari konsumsi 9,84 juta KL	5% dari konsumsi 22,26 juta KL

Potensi Indonesia untuk menjadi pemasok global bioetanol sangatlah besar. Indonesia diklaim mampu memasok 20% kebutuhan bioetanol dunia apabila dapat mengonversikan 1,5 juta lahan kritis menjadi lahan perkebunan tebu, bahan baku utama bioetanol. Dengan penambahan kadar etanol dalam premium diharapkan dapat terjadi proses pembakaran yang lebih bersih dalam ruang bakar karena etanol berasal dari biomassa. Dengan reaksi pembakaran yang bersih maka pembakaran dapat berjalan sempurna dan menurunkan emisi gas buang, seperti CO<sub>2</sub>, CO, NC dan Nox sehingga ancaman akan *green house effect* dapat diminimalisir. Bioetanol juga memiliki nilai RON yang relatif tinggi, yakni sekitar 108 sehingga meminimalisir terjadinya *knocking* pada mesin. Namun bukan berarti bioetanol tanpa kelemahan. Bioetanol memiliki *latent heat of vaporation* yang tinggi yang menyebabkan bioetanol menyerap panas dari udara sehingga menyebabkan suhu mesin menjadi dingin. Selain itu pula, bioetanol memiliki titik nyala yang tinggi sehingga akibat kedua faktor itulah mesin sulit dihidupkan ketika dalam kondisi *cold starting*.

. Untuk mendapatkan unjuk kerja mesin yang optimal, diperlukan persentase kadar etanol yang sesuai. Dengan persentase kadar etanol yang tepat dalam campuran dengan premium maka dapat diperoleh pembakaran yang lebih baik. Dalam

penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh penambahan kadar etanol dengan persentase 5%, 10% dan 15% terhadap unjuk kerja mobil Toyota Vios setelah menempuh jarak sejauh 500 km. Penelitian ini juga ingin mengetahui pengotoran yang terjadi pada ruang bakar setelah uji *durability* sejalama 5000 km. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui properties minyak pelumas setelah uji *durability* 5000 km dan hasil tersebut salah satunya digunakan untuk menganalisis kemudahan menyalakan mesin pada saat kondisi *cold starting*. Maka dari itu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh bioetanol yang dicampurkan dengan bensin sebagai alternatif bahan bakar kendaraan masih diperlukan guna mengetahui seberapa besar efek positif yang ditimbulkan bioetanol dibandingkan dengan efek negatif yang ditimbulkan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Sehubungan dengan penelitian mengenai pengaruh penambahan kadar etanol dengan persentase 5%, 10% dan 15% terhadap unjuk kerja mobil uji, maka permasalahan yang akan dicari pemecahannya adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penambahan kadar etanol dengan persentase 5%, 10% dan 15% terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang \

2. Pada komposisi berapakah campuran etanol dengan premium dapat memiliki unjuk kerja terbaik
3. Bagaimana pengaruh pemakaian campuran etanol dengan premium dalam jangka panjang, yang dilakukan dengan pengujian sejauh 5000 km.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain.

1. Premium yang dipakai adalah premium yang diproduksi Pertamina dengan spesifikasi yang sesuai dengan keputusan Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM/2006 17 maret 2006.
2. Kondisi mesin uji tersebut dalam keadaan standar
3. Etanol yang digunakan memiliki kadar kemurnian 99,5%
4. Komposisi campuran etanol yang digunakan adalah 5%, 10% dan 15%
5. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada pembakaran

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh penambahan kadar etanol dengan persentase 5%, 10% dan 15% terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang mobil
2. Mengetahui komposisi campuran etanol dengan premium yang dapat memiliki unjuk kerja terbaik
3. Mengetahui pengaruh pemakaian campuran etanol dengan premium secara jangka panjang, yang dilakukan dengan pengujian sejauh 5000 km

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini antara lain

1. Dapat mengetahui komposisi campuran etanol dengan premium yang dapat memiliki unjuk kerja terbaik
2. Memberikan sumbangsih pemikiran terkait layaknya penggunaan bahan bakar nabati untuk terus dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil

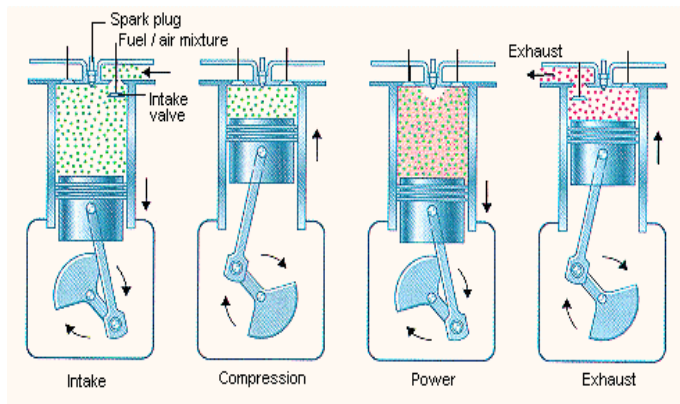
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Siklus Motor Bensin Empat Langkah

Dalam motor bensin 4-langkah, satu siklus kerja diselesaikan dalam empat langkah gerakan piston atau dua kali putaran dari crankshaft. Setiap langkah berisi 180 putaran crankshaft sehingga seluruh cycle menjadi 720 putaran crankshaft. Ada empat tahapan operasi dari siklus mesin 4-langkah motor bensin<sup>[9]</sup>.



**Gambar 2.1** Proses 4 langkah mesin bensin



#### *Langkah Hisap (intake)*

Dalam langkah ini, campuran bahan bakar dan bensin di hisap ke dalam silinder. Katup hisap membuka sedangkan katup buang tertutup. Waktu torak bergerak dari titik mati atas ( TMA ) ke titik mati bawah (TMB), menyebabkan ruang silinder menjadi vakum dan menyebabkan masuknya campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder yang disebabkan adanya tekanan udara luar.

#### *Langkah Kompresi (compression)*

Dalam langkah ini, campuran udara dan bahan bakar dikompresikan. Katup hisap dan katup buang tertutup. Waktu torak naik dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), campuran yang dihisap tadi dikompresikan. Akibatnya tekanan dan temperaturnya akan naik, sehingga akan mudah terbakar. Saat inilah percikan api dari busi terjadi . Poros engkol berputar satu kali ketika torak mencapai titik mati atas ( TMA ).

#### *Langkah Kerja (expansion)*

Dalam langkah ini, mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Saat torak mencapai titik mati atas ( TMA ) pada saat langkah kompresi, busi memberikan loncatan bunga api pada campuran yang telah dikompresikan. Dengan adanya pembakaran, kekuatan dari tekanan gas pembakaran

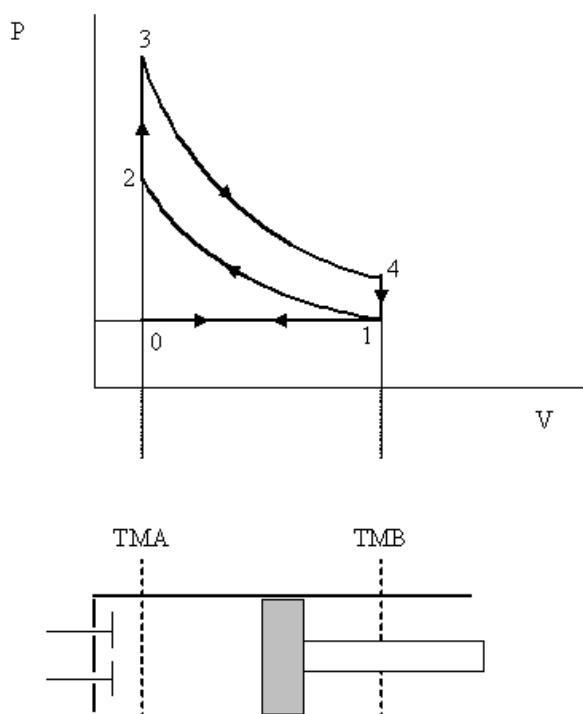
yang tinggi mendorong torak ke bawah. Usaha ini yang menjadi tenaga mesin.

#### *Langkah Buang (exhaust)*

Dalam langkah ini, gas yang sudah terbakar, akan dibuang ke luar silinder. Katup buang membuka sedangkan katup hisap tertutup. Waktu torak bergerak dari titik mati bawah ( TMB ) ke titik mati atas ( TMA ), mendorong gas bekas keluar dari silinder. Pada saat akhir langkah buang dan awal langkah hisap kedua katup akan membuka sedikit ( valve overlap ) yang berfungsi sebagai langkah pembilasan ( campuran udara dan bahan bakar baru mendorong gas sisa hasil pembakaran ). Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan langkah berikutnya, yaitu langkah hisap. Poros engkol telah melakukan 2 putaran penuh dalam satu siklus yang terdiri dari empat langkah yaitu, 1 langkah hisap, 1 langkah kompresi, 1 langkah usaha, 1 langkah buang yang merupakan dasar kerja dari pada mesin empat langkah.

### 2.1.1 Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah

Adapun siklus ideal yang terjadi pada motor bensin 4-langkah adalah sebagai berikut<sup>[3]</sup>



**Gambar 2.2** Diagram P-V siklus ideal pada motor bensin 4 langkah

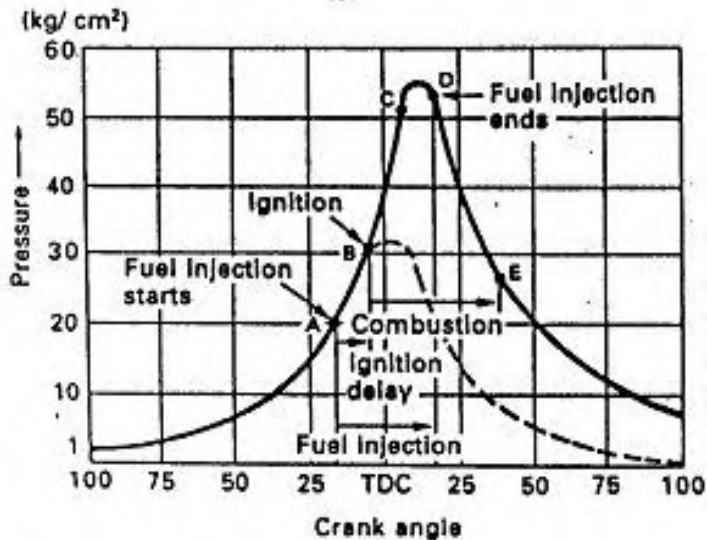
Penjelasan diagram P-V pada gambar diatas adalah sebagai berikut

- Proses 0-1, piston bergerak dari TMA ke TMB, posisi katup masuk terbuka dan katup keluar tertutup, mengakibatkan udara dan campuran bahan bakar terhisap masuk ke dalam ruang bakar.
- Proses 1-2, piston bergerak dari TMB ke TMA, posisi katup masuk dan keluar tertutup, mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar dalam ruang bakar terkompresi. Posisi katup hisap dan katup buang tertutup. Langkah ini akan dapat menaikkan tekanan pada ruang bakar yang telah terisi udara dan bahan bakar.
- Proses 2-3, merupakan proses pembakaran bahan bakar dimana terjadi beberapa saat sebelum langkah akhir kompresi. Beberapa saat sebelum piston sampai pada posisi TMA, waktu penyalaan (timing ignition) campuran udara dan bahan bakar terjadi ditandai dengan berupa nyala busi. Akibat dari proses ini tekanan dan temperatur pada ruang bakar meningkat.
- Proses 3-4, gas yang terbakar dalam ruang bakar akan meningkatkan tekanan dalam ruang bakar, mengakibatkan piston terdorong dari TMA ke TMB. Langkah ini adalah proses yang akan menghasilkan tenaga.

- Proses 4-0, piston bergerak dari TMB ke TMA, posisi katup masuk tertutup dan katup keluar terbuka, mendorong sisa gas pembakaran menuju ke katup keluar yang sedang terbuka untuk diteruskan ke lubang pembuangan.

### 2.1.2 Proses Pembakaran Motor Bensin 4-langkah

Pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar pada motor bensin terjadi dari beberapa tahapan sebagai berikut<sup>[2]</sup>.



**Gambar 2.3** Tahapan Pembakaran pada motor bensin

Tahap pertama disebut ignition lag, merupakan fase persiapan yang mana terjadi pertumbuhan dan perkembangan dari inti api. Tahapan ini bergantung sepenuhnya pada sifat alami bahan bakar, seperti temperatur, tekanan, gas buang, dan laju percepatan oksidasi di dalam ruang bakar. *Ignition lag* terjadi saat kompresi berlangsung dan pada grafik ditunjukkan pada garis A-B. Garis tersebut dinamakan garis kompresi.

Tahap kedua disebut propagation of flame, dimana terjadi perubahan temperatur, tekanan, sifat bahan bakar akibat oksidasi. Perubahan tekanan terjadi di sepanjang garis pembakaran, garis B-C. Pada grafik diatas, titik C menandakan telah selesainya perjalanan api. Namun pembebasan panas dari bahan bakar masih berlangsung meskipun tidak memberikan kenaikan dalam silinder karena saat itu telah terjadi proses ekspansi. Oleh karena itu tahapan ini dikenal dengan nama pembakaran lanjut (*after burning*).

## **2.2. Bahan Bakar Gasoline**

Bahan bakar gasoline (bensin) adalah produk utama dari petroleum dan biasanya hanya untuk bahan bakar S.I Engine. Terdiri dari bermacam campuran seperti: parafin, olefin, naphthane dan aromatik. Komposisi gasoline berubah tergantung dari minyak bumi dan proses refining.

### **2.2.1 Bioetanol**

Ethanol atau yang biasa disebut bioethanol (etil alcohol, grain alcohol,  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  atau ETOH) adalah biofuel dalam bentuk cair yang dapat diproduksi dari berbagai jenis biomasa seperti gandum, tebu, jagung, singkong maupun limbah pertanian, melalui teknologi biokonversi. Ethanol adalah bahan bakar pengganti bensin atau gas. Ethanol tidak berwarna, merupakan cairan bening dan tidak berasa tapi memiliki bau yang khas dan menyengat. Ethanol memiliki RON sekitar 108, sehingga sering dijadikan campuran pada bensin untuk menghasilkan bahan bakar dengan RON yang lebih tinggi.

**Tabel 2.1** Kelebihan & kekurangan properties ethanol <sup>[5]</sup>

<b>Properties</b>	<b>Ethanol</b>
Memiliki angka oktan yang tinggi (RON=108) sehingga meminimalisir terjadinya knocking	Ethanol mudah bercampur dengan air sehingga timbul isu yang menyatakan bahwa sulit untuk bercampur dengan hidrokarbon
Nilai densitas yang mendekati nilai densitas bensin	Hasil pembakaran ethanol menimbulkan emisi aldehid yang memiliki efek negatif bagi kesehatan
Kadar O <sub>2</sub> yang cukup tinggi membuat campuran bahan bakar-udara yang lebih homogen dan mengurangi kandungan emisi seperti CO & HC	Kadar O <sub>2</sub> yang cukup tinggi ketika dalam suhu tinggi dapat terjadinya oksidasi pada beberapa komponen mesin, seperti seal, packing dan ring piston
Nilai latent heat of vaporation yang cukup tinggi membuat meningkatnya efisiensi volumetris	Nilai latent heat of vaporation yang cukup tinggi membuat sulit untuk starting dalam kondisi dingin

**Tabel 2.2** Perbandingan ethanol dan Premium <sup>[5]</sup>

<b>Fuel Property</b>	<b>Premium</b>	<b>Ethanol</b>
Cetane nu.	12	-
Research Octane nu.	88	108
Specific Gravity @ 60 ° F	0.780	0.796



Lower Heating Value, Btu/lb	19326.98	11500
Latent Heat of Vaporation (kJ/kg)	289	854
Density (kg/m <sup>3</sup> )	735-760	794
Stoichiometric ratio	14,4	8,95
Molar mass (g/ml)	102,5	46,07
C (% wt)	86,5	52,2
H (% wt)	13,5	13,1
O (% wt)	0	34,7

Ethanol bersifat korosif, sehingga bagian dalam komponen sistem pemasukan bahan bakar harus diperhatikan. Penggunaan ethanol sebagai bahan bakar dilatar belakangi oleh tingginya tingkat pencemaran udara yang sebagian besar ditimbulkan oleh kendaraan bermotor yang sebagian besar menggunakan bahan bakar hidrokarbon, selain itu dengan meningkatnya harga minyak mentah dunia menyebabkan diperlukan bahan bakar alternatif yang bisa diperbaharui. Ethanol dapat diproduksi secara petrokimia melalui hidrasi etilena ataupun secara biologis melalaui fermentasi gula.

### **2.2.2 Karakteristik bahan bakar gasoline**

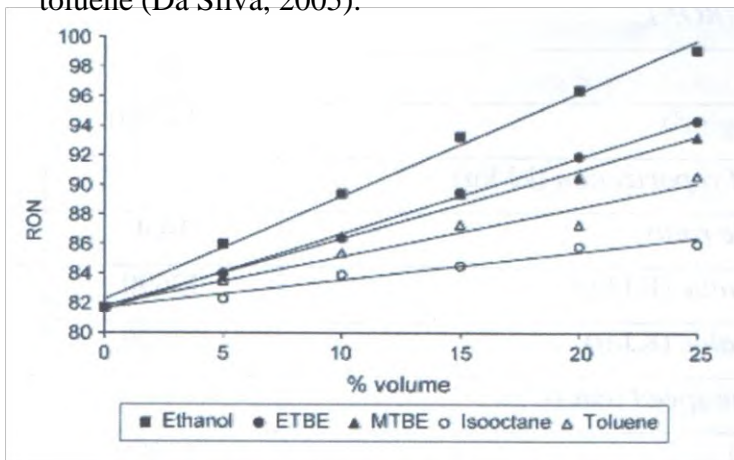
Karakteristik yang umum untuk menilai kinerja bahan bakar mesin bensin antara lain

## 1. Angka Oktan

Angka oktan atau dalam istilah umumnya ialah RON (*Research Octane Number*) adalah angka yang mempresentasikan ketahanan bahan bakar terhadap kompresi di dalam mesin tanpa meledak sendiri. Maka mesin dengan kompresi yang tinggi membutuhkan bahan bakar dengan angka oktan yang tinggi. Pada operasi normal mesin, campuran bahan bakar dan udara akan terbakar/meledak setelah ada percikan api yang dikirim busi. Dengan cara ini ledakan selalu diatur pada saat yang tepat supaya energi hasil ledakan menghasilkan tenaga mekanik yang besar. Sementara bahan bakar dengan angka oktan yang lebih rendah dari yang dibutuhkan mesin bisa meledak sendiri pada akhir proses kompresi. Hal ini akan mengakibatkan tabrakan antara bahan bakar yang meledak sendiri dengan bahan bakar yang dinyalakan busi. Tabrakan itu biasa dikenal dengan "ngelitik" atau *knocking*.

Berdasarkan Tabel 2.1., bilangan oktan untuk bioetanol ditandai dengan nilai RON yang relatif tinggi, yaitu berkisar 108. Bilangan oktan berkaitan dengan kualitas bahan bakar, yang akan mempengaruhi proses pembakaran di dalam ruang bakar, sekaligus meningkatkan tingkat efisiensi thermal engine. Sebuah peningkatan yang substansial dapat dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar yang

memiliki bilangan oktan tinggi. Bioetanol merupakan senyawa yang dapat meningkatkan bilangan oktan premium sebagai campuran. Bioetanol memiliki bilangan oktan yang lebih tinggi daripada premium sehingga dapat dioperasikan pada rasio kompresi yang lebih tinggi. Hal ini memungkinkan terjadinya peningkatan keluaran daya, efisiensi dan konsumsi bahan bakar. Pada Gambar 4.4, bioetanol mempunyai efektifitas yang unggul dibanding senyawa lain seperti: ETBE, MTBE, iso-octane, toluene (Da Silva, 2005).



**Gambar 2.4.** Pengaruh penambahan komposisi terhadap bilangan oktan (RON)

## 2. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas maksimum yang

dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Dari bahan bakar yang ada dibakar, nilai kalor yang terkandung akan diubah menjadi energi mekanik melalui kerja komponen mesin. Besarnya nilai kalor atas diuji menggunakan bomb calorimeter. Terdapat dua istilah dalam nilai kalor, nilai kalor atas (*higher heat value/HHV*) dan nilai kalor bawah (*lower heat value/LHV*). Nilai kalor atas adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar apabila semua air yang mula-mula berwujud cair setelah pembakaran mengembun menjadi cair kembali. Sedangkan nilai kalor bawah adalah nilai kalor yang ditentukan pada saat air hasil pengembunan menguap kembali menjadi gas.

### 3. Viskositas

Viskositas terkait dengan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Viskositas yang tinggi berpengaruh pada kinerja pompa bahan bakar pada mesin Otto dan pembentukan droplet pada sistem injeksi.

#### 4. Titik Nyala

Titik nyala (*flash point*) adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api. *Flash point* mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar.

#### 5. Titik Tuang

Titik tuang (*pour point*) adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang merupakan ukuran daya atau kemampuan bahan bakar pada temperatur rendah, yang berarti bahwa kendaraan dapat menyala pada temperatur rendah karena bahan bakar masih dapat mengalir. Selain itu terkait dengan proses penyimpanan dalam tangki dan pengaliran pada suatu pipa.

#### 6. Kestabilan kimia dan kebersihan bahan bakar

Kestabilan kimia bahan bakar sangat penting, karena berkaitan dengan kebersihan bahan bakar yang selanjutnya berpengaruh terhadap sistem pembakaran dan sistem saluran. Pada temperatur tinggi, bahan bakar sering terjadi polimer yang berupa endapan-endapan gum (getah) ini berpengaruh kurang baik terhadap sistem saluran

misalnya pada katup-katup dan saluran bahan bakar. Bahan bakar yang mengalami perubahan kimia, menyebabkan gangguan pada proses pembakaran. Pada bahan bakar juga sering terdapat saluran/senyawa yang menyebabkan korosi, senyawa ini antara lain : senyawa belerang, nitrogen, oksigen, dan lain-lain. Kandungan tersebut pada bensin harus diperkecil untuk mengurangi korosi yang dapat terjadi pada dinding silinder, katup, busi, dan lainnya. Hal inilah yang menyebabkan awal kerusakan pada mesin.

#### 7. Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Besar nilai berat jenis suatu zat dapat dicari dengan menggunakan Piknometer. Penggunaan *specific gravity* adalah untuk mengukur berat/massa minyak bila volumenya telah diketahui. Bahan bakar minyak umumnya mempunyai *specific gravity* antara 0,74 dan 0,96 dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air.

#### 8. Volatilitas

Volatilitas dapat diartikan sebagai kemampuan bahan bakar untuk mudah menguap. Volatilitas merupakan salah satu sifat yang sangat

penting dalam proses pembakaran, baik itu dalam kondisi atmosferik maupun kondisi bertekanan di dalam mesin Otto. Pada dasarnya bahan bakar akan terbakar bila terjadi pencampuran bahan bakar dalam fasa uap dan udara. Salah satu ukuran tingkat volatilitas suatu bahan bakar adalah dengan mengukur *Reid Vapor Pressure (RVP)*. Dalam bensin volatilitas yang dapat diukur dengan RVP hanya berlaku untuk senyawa hidrokarbon dengan fraksi ringan ( $C_4$ ) dan tidak berlaku untuk fraksi sedang ( $C_{10}$ - $C_{12}$ ).

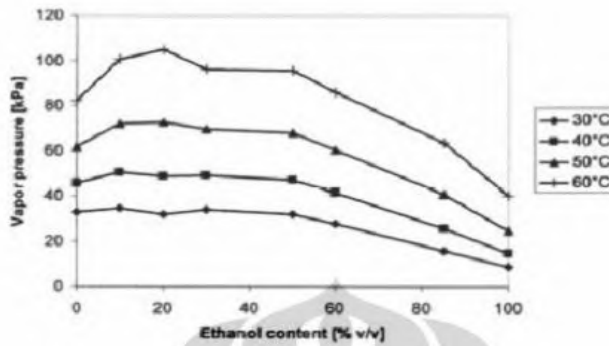
Bioetanol merupakan zat murni yang mempunyai satu titik didih. Pencampuran bensin - bioethanol akan memberikan efek azeotropika, dimana titik didih campuran selalu lebih rendah daripada titik didih senyawa penyusunnya, seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 Titik didih campuran bensin-bioethanol ialah  $34^{\circ}\text{C}$ , selalu lebih rendah dibanding senyawa penyusunnya seperti titik didih bensin (n-pentene) yang sebesar  $36^{\circ}\text{C}$  maupun bioethanol murni yang mencapai  $76^{\circ}\text{C}$ . Akibat efek azeotropika ini akan berakibat pada meningkatnya nilai *Reid Vapor Pressure* campuran.:

**Tabel 2.3** Karakteristik efek azeotropika bioetanol dengan beberapa molekul

Molecule	Pure boiling point (°C)	Azeotrope boiling point (°C) with ethanol	Composition of the azeotrope (%wt ethanol)
<i>n</i> -pentane	36	34	5
<i>n</i> -hexane	69	59	21
benzene	80	68	32
cyclohexane	81	65	29.2
toluene	111	77	68
<i>n</i> -octane	126	77	88

Semakin tinggi temperatur campuran akan semakin tinggi tekanan uap yang terjadi, artinya bahwa campuran akan semakin mudah menguap. Kenaikan efek azeotropika semakin tinggi sebanding dengan kenaikan temperatur campuran bensin-bioetanol (Gambar 2.4).





**Gambar 2.5** Perbandingan beberapa bioethanol dengan temperatur tertentu

## 2.3 Performa Mesin Bensin

### 2.3.1 Parameter unjuk kerja motor bensin

Performa mesin menunjukkan tingkat kesuksesannya dalam mengkonversi energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Untuk itu, ada beberapa parameter yang digunakan sebagai ukuran terhadap performa atau unjuk kerja agar mesin tersebut dapat bekerja secara optimal sesuai tujuan penggunaannya. Selain parameter performa, mesin juga harus diketahui kandungan emisinya sehingga pengaruhnya terhadap lingkungan dapat diketahui. Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin bensin antara lain:

#### 1. Torsi

Kemampuan mesin dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang

dihasilkannya. Dan didalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada *engine* adalah sebagai berikut :

$$\text{Torsi} = P \cdot R$$

(N.m).....

(2.1)

dimana:

P = gaya tangensial (N)

R = panjang lengan waterbrake dynamometer (m)

## **2. Daya (bhp)**

Tujuan dari pengoperasian mesin adalah untuk menghasilkan daya atau *power*. *Brake horse power* merupakan daya yang dihasilkan dari poros keluaran mesin yang dihitung berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya.

Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan :

$$\text{bhp} = \omega \cdot T$$

$$\text{bhp} = 2\pi \cdot n \cdot T \text{ (Watt)}$$

$$\text{bhp} = 2\pi \cdot n \cdot T / 746 \text{ (hp)}$$

.....(2.2)

dimana :

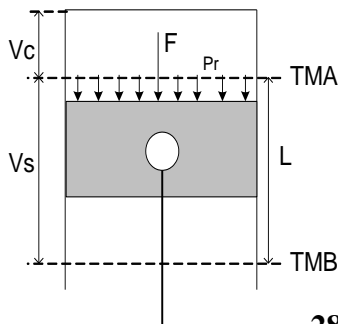
$T$  = Torsi (N.m)

$n$  = putaran poros *waterbrake dynamometer* (rps)

### 3. Tekanan efektif rata-rata (BMEP)

Tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*) didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya. Jika tekanan efektif rata-rata dihitung berdasarkan pada bhp (*brake horse power*) maka disebut bmep (*brake mean effective pressure*).

Besarnya bmep dapat diturunkan sebagai berikut



Gaya yang bekerja mendorong piston ke bawah :

$$F = P_r \times A$$

Kerja selama piston bergerak dari TMA ke TMB :

$$W = F \times L = (P_r \cdot A) \times L$$

Daya Motor (Kerja per satuan waktu):

Jika poros engkol berputar  $n$  rpm, maka dalam 1 menit akan terjadi  $\frac{n}{z}$  siklus kerja.

dimana  $\frac{n}{z} \left( \frac{\text{siklus}}{\text{menit}} \right)$  ;  $z = 1$  (2langkah),  $2$  (4langkah)

$$\text{Daya tiap silinder : } N = \frac{P_r \cdot A \cdot L \cdot n}{z}$$

$$\text{Daya motor sejumlah "i" silinder : } N = \frac{P_r \cdot A \cdot L \cdot n \cdot i}{z}$$

Jika  $N = bhp$  dan  $P_r = bmep$ , maka :

$$bmep = \frac{bhp \times z}{A \times L \times n \times i} (Pa) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$bhp$  = daya motor, Watt

$A$  = Luas penampang torak,  $m^2$

$L$  = Panjang langkah torak, m

$i$  = Jumlah silinder

$n$  = Putaran mesin, rps

$z$  = 1 ( motor 2 langkah) atau 2 ( motor 4 langkah )

#### 4. Pemakaian bahan bakar spesifik (sfc)

Konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*) merupakan banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin selama satuan waktu tertentu. Sedangkan, sfc (*specific fuel consumption*) merupakan jumlah konsumsi bahan bakar mesin selama satuan waktu tertentu untuk menghasilkan satu daya efektif. Karena perhitungan sfc didasarkan pada bhp (*brake horse power*) maka disebut bsfc (*brake specific fuel consumption*).

Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar  $m$  (kg) dalam waktu  $s$  (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar bhp (hp), maka pemakaian bahan bakar per jam ( $\dot{m}_{bb}$ ) adalah :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} \quad (kg/detik)$$
$$\dot{m}_{bb} = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{s} \quad (kg / jam)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$Sfc = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{bhp}$$

(kg/kW.jam).....(2.4)

dimana :

$m_{bb}$  = massa bahan bakar yang dikonsumsi mesin (kg)

$m_{bb}$  = pemakaian bahan bakar tiap satuan waktu (kg/detik atau kg/jam)

$s$  = waktu konsumsi bahan bakar (detik)

$sfc$  = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/hp.jam)

$bhp$  = Daya efektif poros mesin dalam satuan kilowatt (kW)

**5. Efisiensi termal ( $\eta_{th}$ )**

Besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam dinyatakan dalam efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ). Setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sehingga efisiensi termal yang dihasilkan juga akan berbeda pula. Secara teoritis efisiensi termal bahan bakar dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{Bhp}{m_{bb} \times Q} \times 100\%.....(2.5)$$

$\dot{m}_{BB}$  merupakan laju aliran bahan bakar (kg/s) dan Q nilai bahan bakar. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. Nilai kalor bawah (NKB) atau *low heat value* (LHV) dapat dinyatakan dengan rumus empiris (untuk bahan bakar bensin) sebagai berikut:

$$\text{LHV} = [16280 + 60(\text{API})] \text{ Btu/lb}$$

Dimana :  $1 \text{ Btu/lb} = 2,326 \text{ kJ/kg}$

$$1 \text{ kJ/kg} = \left[ \frac{1}{4187} \right] \text{ kkal/kg}$$

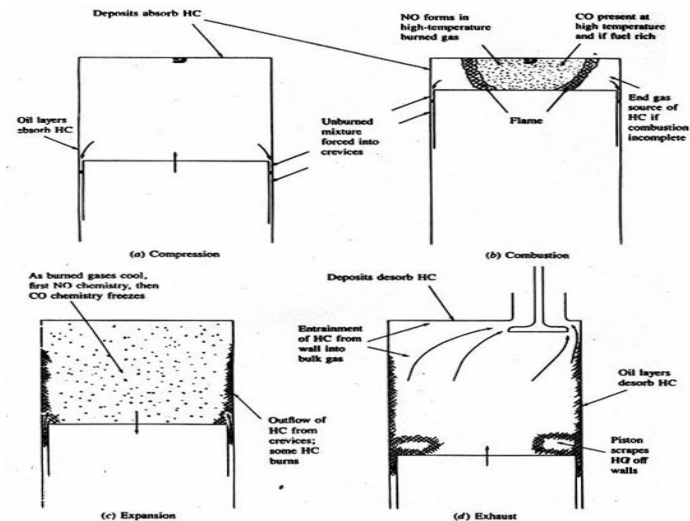
API Gravity adalah suatu pernyataan yang menyatakan densitas dari suatu material. API Gravity diukur pada temperatur minyak bumi 60°F. Harga API Gravity dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{API} = \frac{141,5}{\text{Specific Gravity pada } 60^\circ\text{F}} - 131,5$$

## 2.4 Polusi Udara

Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar kedalam udara sedemikian rupa sehingga mengakibatkan kualitas udara menurun dan lingkungan tidak berfungsi sebagaimana mestinya (UUPLH No.23/1997 pasal 1). Polutan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah polutan

dimana keberadaannya di udara langsung dari sumbernya. Contoh polutan primer adalah partikulat, Sulfur Oksida ( $\text{SO}_x$ ), Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ), Hidrokarbon (HC), dan Karbon Monoksida ( $\text{CO}$ ). Sedangkan polutan sekunder adalah polutan primer yang bereaksi dengan komponen lain diudara, contohnya Ozon ( $\text{O}_3$ ) dan Peroksi Asetil Nitrat (PAN) dimana keduanya terbentuk di atmosfer melalui proses hidrolisis, petrochemical atau oksidasi. Proses terbentuknya polutan dalam silinder pada engine SI konvensional secara sederhana ditunjukkan dalam gambar berikut [2]:



**Gambar 2.6** Mekanisme terbentuknya polutan HC,  $\text{CO}$ , dan  $\text{NO}_x$  pada mesin SI



Proses terbentuknya polutan dalam silinder pada engine SI konvensional secara sederhana ditunjukkan Gambar 2.4. Dari kedua jenis polutan diatas yang sering jadi perhatian adalah polutan primer, meskipun polutan sekunder tidak bisa dianggap enteng. Berikut ini adalah penjelasan tentang beberapa polutan primer.

#### **2.4.1 Hidrokarbon (HC)**

Hidrokarbon terjadi dari bahan bakar yang tidak terbakar langsung keluar menjadi gas mentah, dan dari bahan bakar terpecah menjadi reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang lain, yang keluar bersama gas buang. Sebab-sebab terjadinya hidrokarbon (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalaan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan karena adanya *overlap valve*, sehingga HC dapat keluar saluran pembuangan.

Polutan unburned hidrokarbon berasal dari beberapa sumber yang berbeda. Terdapat empat kemungkinan penyebab terbentuknya HC pada engine SI sebagai berikut:

HC dalam *volume crevice*.

1. *Volume crevice* adalah volume dengan celah yang sangat sempit sehingga api tidak dapat menjangkaunya yang merupakan sumber utama

munculnya HC dalam gas buang. *Volume crevice* yang paling utama adalah volume diantara piston, ring piston dan dinding silinder. *Volume crevice* yang lainnya adalah *crevice* disekitar ulir busi, ruangan disekitar pusat elektroda busi, dan *crevice* disekitar gasket silinder head.

2. Proses *flame quenching* pada dinding ruang bakar.

Api akan padam ketika menyentuh dinding ruang bakar karena *heat loss (wall quenching)*, sehingga meninggalkan lapisan tipis yang terdiri dari campuran yang tidak terbakar dan terbakar sebagian.

3. Penyerapan uap bahan bakar ke dalam lapisan oli pada dinding ruang bakar.

Selama proses pengisian dan kompresi, uap bahan bakar diserap oleh oli pada dinding ruang bakar, selanjutnya melepaskannya kembali ke ruang bakar selama ekspansi dan pembuangan.

4. Pembakaran yang tidak sempurna.

Terjadi ketika kualitas pembakaran jelek baik terbakar sebagian (*partial burning*) atau tidak terbakar sama sekali (*complete misfire*) akibat homogenitas, turbulensi, A/F dan spark timing yang tidak memadai. Saat tekanan silinder turun selama langkah ekspansi, temperatur unburned mixture didepan muka api menurun,

menyebabkan laju pembakaran menurun. Karena temperatur unburned didepan muka api yang terlalu rendah maka menyebabkan api padam. Hal ini dapat menyebabkan konsentrasi HC dalam gas buang meningkat tajam.

#### **2.4.2 Karbon monoksida (CO)**

Gas karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau pada suhu diatas titik didihnya dan mudah larut dalam air. Gas karbon monoksida merupakan komponen utama dalam udara tercemar, karena kereaktifan gas karbon monoksida terhadap hemoglobin dalam darah yang mengakibatkan darah kekurangan oksigen dan menyebabkan gangguan saraf pusat. Pembakaran yang normal pada motor bensin akan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran udara dan bahan bakar. Akan tetapi dalam pembakaran yang tidak normal, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO yang berada didalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang.

Karbon monoksida juga sangat ditentukan oleh kualitas campuran, homogenitas dan A/F ratio. Semakin bagus kualitas campuran dan homogenitas akan mempermudah oksigen untuk bereaksi dengan karbon. Jumlah oksigen dalam campuran (A/F ratio)

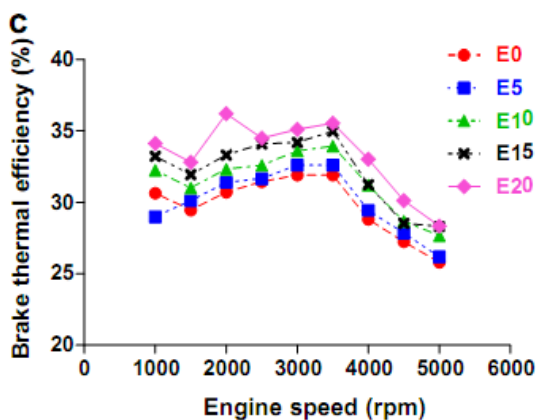
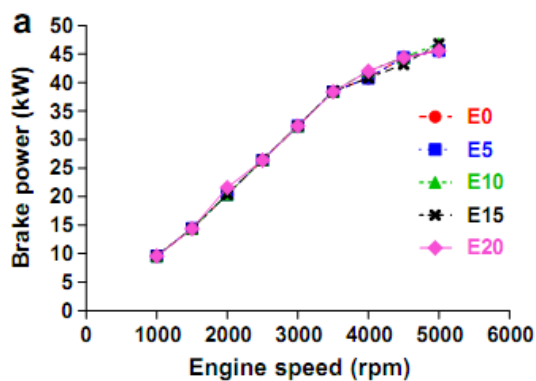
juga sangat menentukan besar CO yang dihasilkan, mengingat kurangnya oksigen dalam campuran akan mengakibatkan karbon bereaksi tidak sempurna dengan oksigen (sehingga terbentuk CO). Karbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi (melepaskan diri) membentuk karbon monoksida + oksigen.

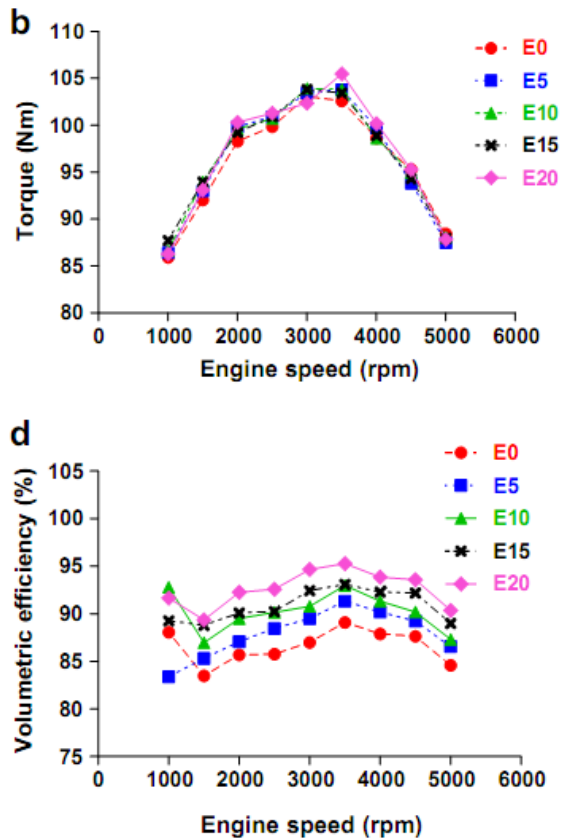
## **2.5 Penelitian Terdahulu**

Pada sub bab ini akan ditampilkan beberapa hasil penelitian – penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.

### **1. G. Najafi, B. Ghobadian, T. Tavakoli, D.R. Buttsworth (2009)**

Dalam penelitiannya tentang “*Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network*”, menyatakan bahwa didapat daya maksimal pada bahan bakar E20, torsi, efisiensi thermal dan efisiensi volumetris mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar ethanol.



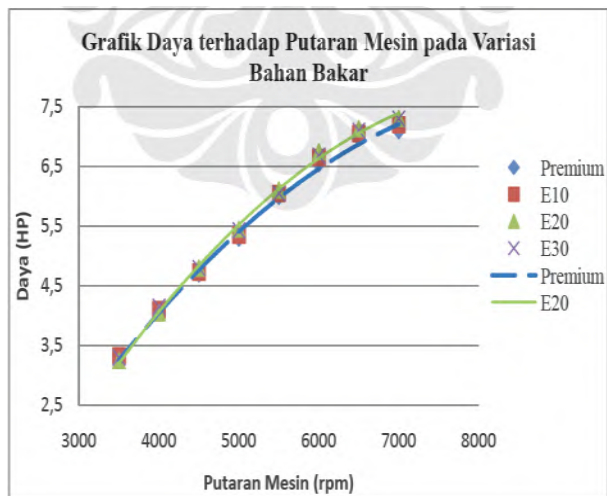


**Gambar 2.7** Perbandingan unjuk kerja Sepeda Motor 4 Langkah 1 Silinder Fuel Injection 125 cc terhadap Variasi Campuran Premium-Ethanol.

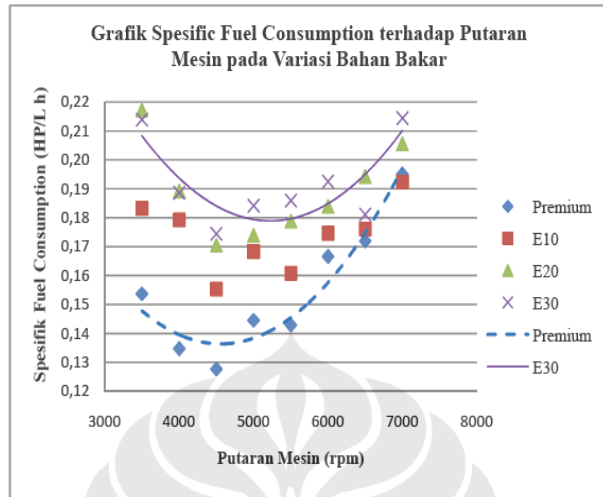
(a) Grafik Daya vs Putaran Mesin  
 (b) Grafik Torsi vs Putaran Mesin  
 (c) Grafik Efisiensi thermal vs Putaran Mesin  
 (d) Grafik Efisiensi volumetris vs Putaran Mesin

## 2. Rinto Yoga Pratomo (2008)<sup>[10]</sup>

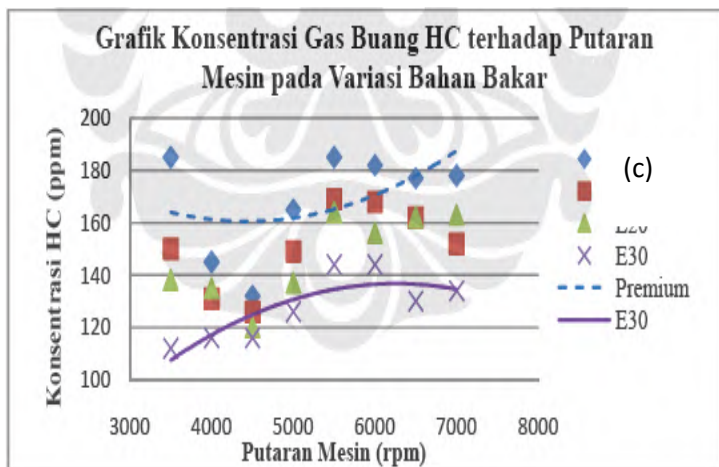
Dalam penelitiannya tentang “Analisa Performa Sepeda Motor 4 Langkah 1 Silinder Fuel Injection 125 cc terhadap Variasi Campuran Premium-Ethanol (E10-E30)”, menyatakan bahwa didapat daya maksimal pada bahan bakar E20 (Gambar 2.7.a), sfc mengalami kenaikan sering dengan penambahan kadar ethanol dan mencapai titik terendah saat putaran optimum (Gambar 2.7.b), dan terjadi penurunan emisi gas buang pada campuran premium-ethanol (Gambar 2.7.c),.



(a)



(b)



(c)



**Gambar 2.8** Perbandingan unjuk kerja penambahan Bioethanol pada Bahan Bakar Pertamina terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin.

- (a) Grafik daya vs putaran mesin
- (b) Grafik BSFC vs putaran mesin
- (c) Grafik HC vs putaran mesin

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh penambahan ethanol 99.5% pada bahan bakar premium terhadap unjuk kerjadanemisi gas buang motor bensininjeksi multi silinder. Metode yang digunakan adalah dengan menambahkan ethanol 99.5% pada bahan bakar premium dengankadar 5%, 10%, 15%, dan 20% pada motor bensin putaran variabel (*variable speed test*) 3000 hingga 6000 rpm.

#### **3.1 Peralatan Uji**

Peralatan uji yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

##### **3.1.1 Engine Test**

*Engine* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *engine gasoline* 4 langkah merek Toyota Vios dengan kapasitas engine 1497 cc. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga mobildengan pengondisian awal masing-masing mobil dicampurkan dengan bioetanol sebesar 5%, 10% dan 15% (E5, E10 dan E15).



**Gambar 3.1**Mobil uji

Tipe Mesin : 4 cylinders, in-line ; 16 valve  
Isi Silinder : 1497 cc  
Daya Maksimum : 109 kW pada 6000 rpm  
Torsi Maksimum : 14.4 Nm. pada 4200 rpm

### **3.1.2 Alat Ukur**

Alat ukur adalah suatu peralatan yang sangat diperlukan didalam pengujian untuk mengetahui nilai pada parameter-parameter yang akan dicari nilainya melalui pengukuran tersebut. Adapun alat ukur yang digunakan selama pengujian ini terdiri dari:

a) *Dynamometer*

*Dynamometer* adalah alat untuk melakukan *dyno test*, yakni pengujian untuk mengukur daya dan torsi engine mobil



**Gambar 3.2** *Dynamometer*

b) *Sensor AFR*

Sensor

AFR adalah alat untuk mengetahui kesetimbangan udara pada campuran bahan bakar



**Gambar 3.3** *AFR Analyzer*

c) *Tabung ukur waktu konsumsi bahan bakar*

Alat

digunakan untuk mengukur konsumsi bahan bakar dengan volume tertentu

yang  
engine



**Gambar 3.4** Tabungukur waktu konsumsi bahan bakar

- d) *Stop Watch*  
*Stop watch* berfungsi untuk menghitung waktu konsumsi bahan bakar mobil yang dilakukan dengan alat tabungukur waktu konsumsi bahan bakar



**Gambar 3.5** *Stop Watch*

e) *Exhaust Gas Analyzer*

*Exhaust Gas Analyzer* digunakan untuk mengetahui volume emisi gas buang



**Gambar 3.6** *Exhaust Gas Analyzer*

f) *Thermocouple digital*

Alat yang digunakan untuk mengukur temperature pendingin, pelumas dan gas buang



**Gambar 3.7** *Thermocouple digital*

### 3.1.3 Peralatan Bantu

Peralatan bantu merupakan peralatan yang digunakan sebagai sarana pendukung dalam proses pelaksanaan pengujian eksperimen. Adapun peralatan bantu yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- *Blower*

*Blower* digunakan untuk membantu proses pendinginan mesin selama pengujian agar tidak terjadi *overheating*



**Gambar 3.8***Blower Axial*

### **3.2 Bahan Bakar**

Bahan bakar premium

Bahan bakar premium yang digunakan diproduksi oleh PERTAMINA dan dijual bebas dipasaran. Adapun campuran bahan bakar yang digunakan meliputi

Campuran Premium dan Ethanol 99.5% dengan kadar Ethanol 5%

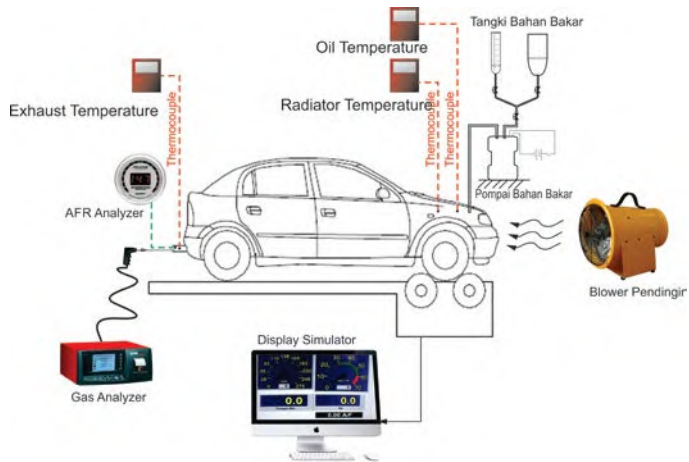
Campuran Premium dan Ethanol 99.5% dengan kadar Ethanol 10%

Campuran Premium dan Ethanol 99.5% dengan kadar Ethanol 15%

### **3.3 Prosedur Pengujian**

#### **3.3.1 Skema Peralatan Uji**

Skema alat uji yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar berikut ini :



**Gambar 3.9**SkemaPengujian

### 3.3.2 Tahapan Pengujian

Padapenelitianini, pengujianmesin uji dilakukandenganmenggunakanbahanbakar premium yang diproduksioleh PERTAMINA dancampuran Premium dan bioetanol 99.5% dengankadar bioethanol 5%, 10 %, dan 15%. Untukmendapatkanhasilpengujian yang tepatdanakurat, dengan kondisi mobil yang telah menempuh jarak tempuh yang berbeda, maka ketiga mobil di *tune up* dan dilakukan pembersihan pengotoran pada ruang bakar. Kemudian pengotoran yang terjadi divisualisasikan. Setelah itu ketiga mobil menggunakan pelumas baru. Berikutbeberapalangkah pengujian yangdilakukanyaitu:



### **A. Persiapan pengujian performa**

Agar pengujian performaberjalanlancar, makahal-hal yang perludipersiapkanadalahsebagaiberikut.

Untuk awal pengujian performa kami memakai mobil dengan bensin murni

1. Melakukan pemeriksaan terhadap kondisi fisik mesin, minyak pelumas, sistem pendinginan, sistem pemasukan bahan bakar, dan sistem kelistrikannya.
2. Memasang alat pengaman *dyno test* pada mobil. Mengisi identitas kendaraan mobil uji pada aplikasi program *dyno test*
3. Mengecek kualitas alat ukur yang akan digunakan.
4. Memasang alat ukur, seperti sensor AFR, sensor tangki mandiri, *termocouple* dan sensor emisi pada mobil
5. *Blower* dihidupkan.

### **B. Pengujian**

1. Mesin mobil dinyalakan pada putaran *idle* agar terjadi kondisi stasioner
2. Meningkatkan putaran mesin pada 3000 rpm, jika putaran mesin telah stabil, catat perubahan yang terjadi pada data putaran mesin (rpm), torsi (N.m), daya (hp) waktu konsumsi bahan bakar premium (sekon), *air fuel ratio* (AFR), emisi CO (% volume), emisi CO<sub>2</sub> (% volume), emisi HC (ppm volume), temperatur gas buang (°C), temperatur pendinginan atau radiator (°C), dan temperatur minyak pelumas (°C).

3. Menaikkan putaran mesin hingga 6000 rpm. Mencatat setiap perubahan yang terjadi seperti pada langkah 2.
4. Mencatat perubahan grafik torsi (N.m) dan daya (hp) pada layar monitor *dyno test*

### **C. Akhir Pengujian**

1. Menurunkan putaran mesin pada putaran *idle*
2. Pada saat putaran *idle*, mesin dapat dimatikan.
3. *Blower* dihidupkan untuk mempercepat pendinginan mesin. Setelah mesin dingin *blower* dapat dimatikan.

Lakukan langkah pengujian diatas mulai dari poin A hingga B dengan mobil lainnya dengan bahan bakar campuran premium dan bioethanol dengan kadar 5%, 10%, dan 15%.

### **D. Uji *Durability***

Uji *durability* adalah uji pemakaian ketahanan mobil dengan total jarak yang ditempuh sejauh 5000 km untuk mengetahui perubahan kondisi mobil yang terjadi. Pengemudi ditargetkan untuk mencapai jarak 5000 km dengan pemakaian operasional sehari-hari dalam kurun waktu tertentu.

1. Setelah pengujian perfoma ketiga mobil (E5, E10 dan E15) diuji *durability* sepanjang 5000 km. Pengemudi mencatat kondisi operasional per harinya, seperti jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, suhu mesin, kemudahan starting awal, dan kondisi akselerasi.

2. Setelah diuji *durability*, mobil diuji performa kembali sesuai langkah pengujian poin A, B dan C.
3. Mengambil sampel oli pada setiap mobil untuk dianalisis dan memvisualisasikan pengotoran yang terjadi pada komponen piston, injektor dan kepala silinder

Pengujian performa kembali dilakukan sesuai dengan langkah pengujian poin A, B dan C dengan menggunakan bensin murni (E0) pada ketiga mobil dan dilanjutkan dengan uji *durability* kembali selama 5000 km sesuai dengan langkah pengujian poin D.

Contoh Form Operasional Harian Pengujian Durability  
Petunjuk Pengambilan Data Harian  
Uji Durability Kendaraan  
Berbahan bakar campuran Premium-BioEtanol E-15

NO	URAIAN	KETERANGAN			
1	HARI/TANGGAL				
2	KM AWAL				
3	KM AKHIR				
4	STRIP INDIKATOR BENSIN				
5	PENAMBAHAN BAHAN BAKAR	BENSIN	8.5	17	25.5
		BIOETANOL	1.5	3	4.5
6	SUHU				
	BEBAN				
	MEDAN JALAN				
7	KOMENTAR				

**Hari, Tanggal :.....**

**Mengetahui**

**Tertanda,**

Volume Total Tanki	CAMPURAN E 15	
	BENSIN	BIOETANOL
10 liter	8.5 liter	1.5 liter
20 liter	17 liter	3 liter
30 liter	25.5 liter	4.5 liter

### 3.4 Rancangan Eksperimen

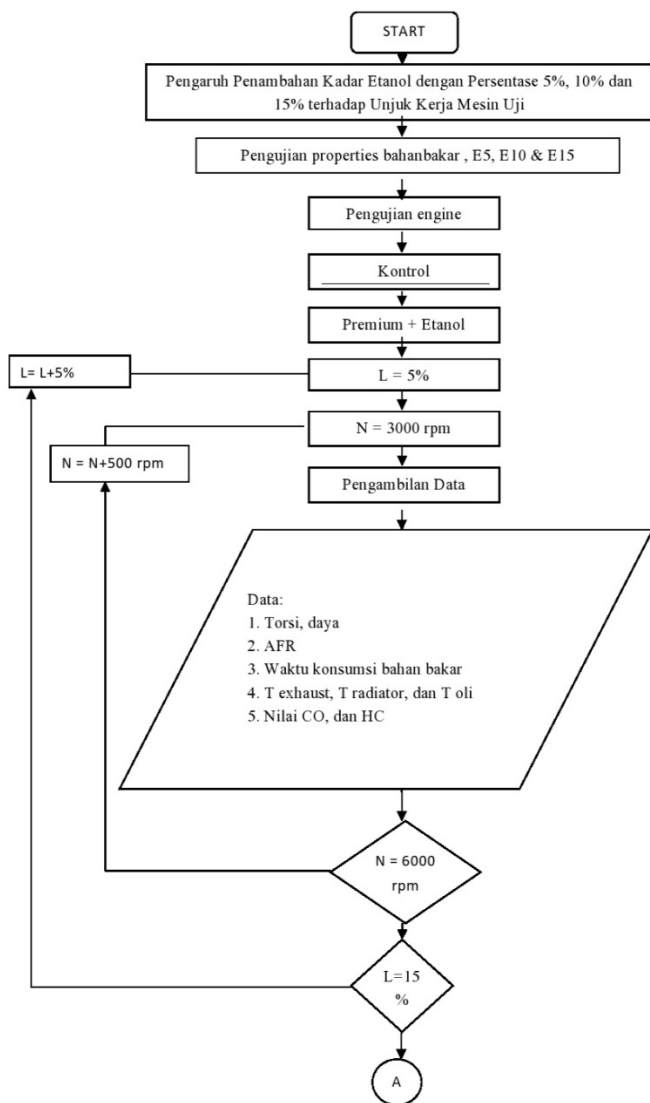
Dalam perancangan eksperimen ini ada beberapa parameter yang ingin didapatkan dalam percobaan ini dengan menetapkan parameter input. Parameter-parameter tersebut dinyatakan sebagaimana dinyatakan dalam Tabel 3.1, yaitu :

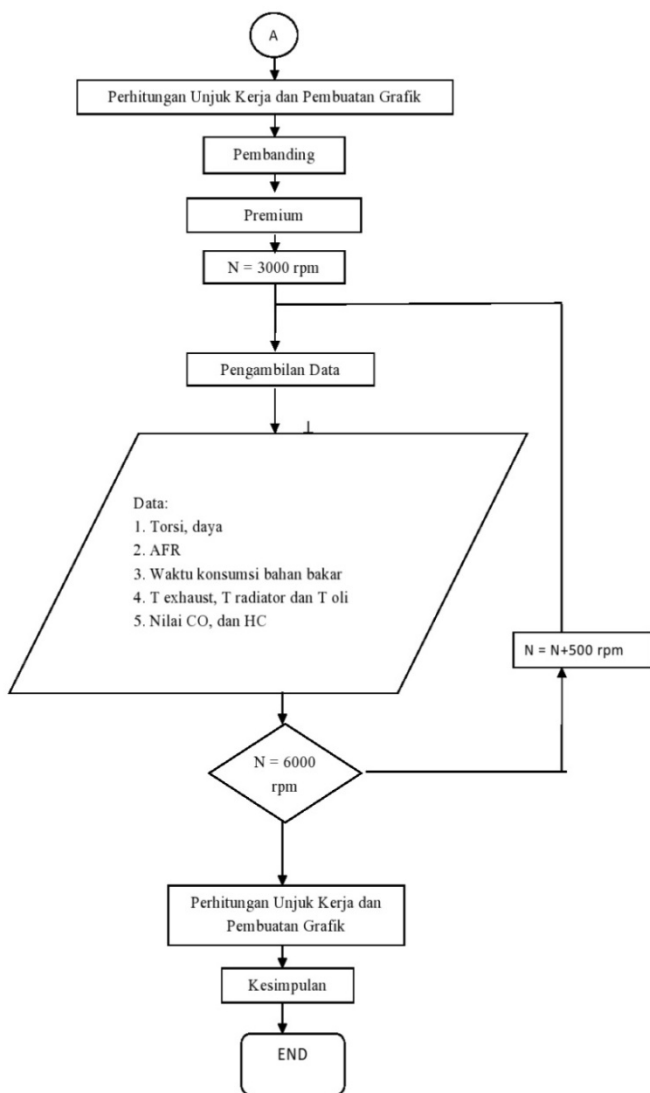
**Tabel 3.1**Parameter penelitian

Parameter Input		Parameter Output			
Konstan	Bervariasi	Diturunkan	Dihitung	Visualisasi	Kondisi Operasi
- Bahan Bakar Bensin	- Putaran mesin 3000 rpm hingga 6000 rpm	- $T_{gas\ buang}$ dan $T_{oli}$ pelumas	- $\eta_{mp}$ , $\eta_{fc}$ , $\eta_{k}$ dan $\eta_{p}$	- Membandingkan hasil pengujian performa engine dengan variasi campuran bioetanol (E0, E5, E10, E15)	- Temperatur mesin
- Campuran bensin dan ethanol (5, 10, 15 ml) per liter bensin	- Emisi gas buang: CO, dan HC	- Kandungan pelumas	- Properties pelumas	- Visualisasi ruang bakar	- Starting awal
- Daya dan torsi	- 1 konsumsi bahan bakar 10 ml	- 1 konsumsi bahan bakar	- 1 konsumsi bahan bakar	- Visualisasi ruang bakar	- Kondisi akselerasi
					- Konsumsi bahan bakar

### **3.5 Diagram Alir (Flow Chart) Penelitian**

Pada Diagram Alir (Flowchart) dibawah ini akan menjelaskan tentang urutan-urutan yang akan dilakukan dalam penelitian ini:







## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dan pembahasan penelitian ini

#### 4.1 Hasil Pengujian Properties Bahan Bakar

Penambahan bioetanol pada premium mempunyai efek positif yaitu dapat menaikkan bilangan oktan campuran dan juga akan mengubah sifat-sifat premium antara lain densitas, volatitas, viskositas, panas penguapan dan angka oktan. Hasil pengujian properties bahan bakar uji ditunjukkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4.1.** Properties bahan bakar uji

Properties	Satuan	Metode	Campuran Premium-Bioetanol				
			E0	E5	E10	E15	E100
Density	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D-1298	708,0	711,6	715,6	719,2	795,1
Viscosity	cSt	ASTM D-445	0,47	0,50	0,50	0,52	0,62
LHV	kJ/kg	ASTM D-240	44.929	43.154	41.414	39.490	25.213

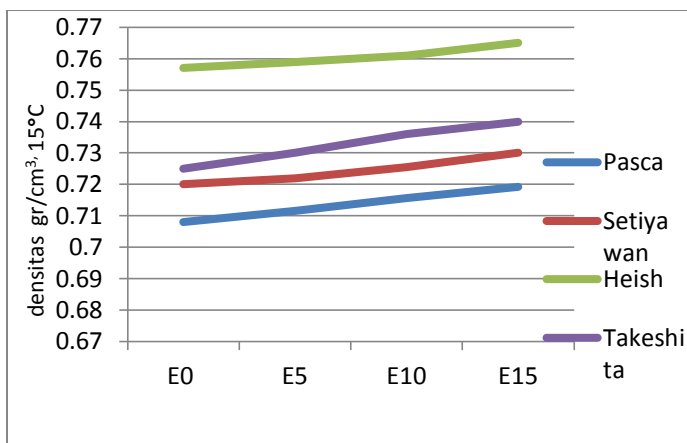
##### 4.1.1 Densitas

Pada tabel pengujian properties bahan bakar tersebut terlihat bahwa densitas dari campuran premium-bioetanol lebih tinggi dibanding premium. Semakin besar persentase kadar etanol dalam campuran bahan bakar, maka semakin besar pula nilai densitasnya. Hal ini menandakan bahwa dengan volume injeksi yang sama, jumlah massa bahan bakar yang masuk ke ruang

bakardalam satu siklus pembakaran menjadi lebih besar. Naiknya jumlah massa bahan bakar ini mengakibatkankebutuhan udara yang berubah agar campuran tetap konstan. Penyesuaian kebutuhan udara dilakukan agar bahan bakar tetap dapat terbakar sempurna sehingga performa mesin tidak menurun dan juga untuk menghindari timbulnya emisi gas buang, seperti HC, CO dan Nox.

Namun mengingat kadar oksigen dalam etanol yang mencapai 35% membuat kebutuhan udara dalam pembakaran menurun. Ini ditandai dengan rasio stoikiometrik (rasio udara-bahan bakar) etanol yang lebih rendah dibandingkan dengan premium (lihat Tabel 2.2). Sebagai konsekuensi dari perbedaan ini, jika efisiensi mesin tetap sama untuk premium dan bioetanol, konsumsi bahan bakar volumetrik akan mengalami peningkatan pada bahan bakar campuran premium-bioetanol. Parameter lain yang harus dipertimbangkan adalah besarnya energi spesifik, yang merupakan energi yang dilepaskan untuk setiap satuan massa udara yang dikonsumsi dalam kondisi stoikiometrik. Hal ini sesuai dengan rasio (nilai kalor bawah / rasio udara-bahan bakar). Rasio ini adalah sekitar 3 untuk bioetanol dan 2,9 untuk premium.

Pada penelitian lain juga menunjukkan kecenderungan yang serupa. Semakin besar persentase kadar etanol dalam campuran bahan bakar, maka semakin besar pula nilai densitasnya. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Densitas campuran meningkat secara proporsional terhadap kenaikan persentase kadar etanol dalam campuran premium-etanol.



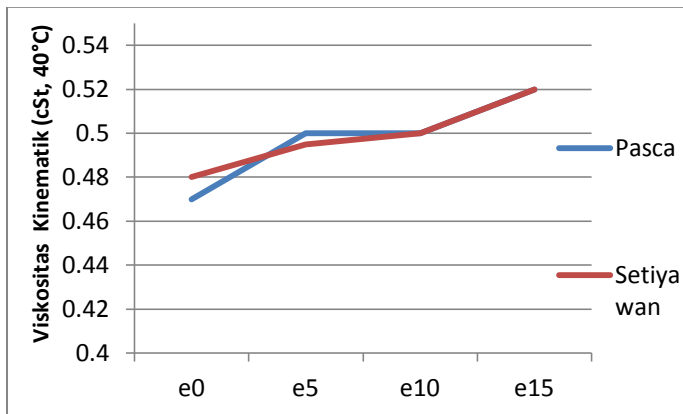
**Gambar 4.1.** Densitas campuran premium-etanol dalam beberapa hasil penelitian<sup>[13]</sup>

#### 4.1.2 Viskositas

Viskositas terkait dengan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Viskositas yang tinggi berpengaruh pada kinerja pompa bahan bakar pada mesin Otto dan pembentukan droplet pada sistem injeksi.

Pada Gambar 4.2 tampak nilai viskositas semakin meningkat seiring naiknya persentase kadar etanol dalam bahan bakar. Hal ini merupakan hal yang lumrah mengingat nilai viskositas etanol itu sendiri lebih besar dibandingkan nilai viskositas premium. Penelitian lain yang dilakukan Setiyawan juga memiliki kecenderungan hal yang sama, meski nilai viskositas kinematik yang

didapatkan terdapat sedikit perbedaan. Viskositas pada bensin (E0) memiliki nilai 0,48 cSt, sedangkan bioetanol murni (E100) berharga 0,62 (lihat Tabel 4.1) atau 29,16% lebih tinggi dari bensin. Dengan penambahan persentase kadar bioetanol hingga 15% maka akan menaikkan viskositas campuran sebesar 8,33%. Kenaikan viskositas akibat dari penambahan etanol ke dalam bensin sampai kadar tertentu, selama ini tidak mengakibatkan perubahan dan kinerja dari pembentukan *droplet* oleh *nozzle*<sup>[14]</sup>.



**Gambar 4.2** Perbandingan Viskositas Kinematik

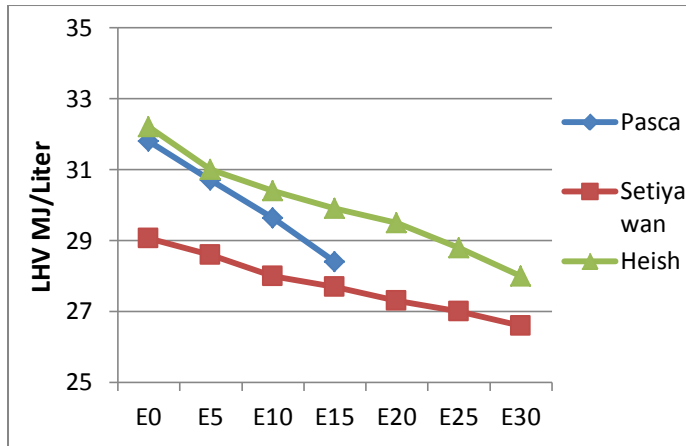
#### 4.1.3 Nilai Kalor

Nilai kalor (*heat value/HV*) adalah jumlah energi kalor yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak. Terdapat dua istilah dalam nilai kalor, nilai kalor atas (*higher heat value/HHV*) dan nilai kalor bawah (*lower heat value/LHV*). Nilai kalor atas adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar

apabila semua air yang mula-mula berwujud cair setelah pembakaran mengembun menjadi cair kembali. Sedangkan nilai kalor bawah adalah nilai kalor yang ditentukan pada saat air hasil pengembunan menguap kembali menjadi gas.

*LHV* atau nilai kalor bawah bahan bakar pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa untuk bahan bakar bioetanol nilainya berkisar 56% dibandingkan premium. Hal ini disebabkan oleh komposisi kimia penyusun bioetanol 34,7% merupakan unsur oksigen. Ini menyebabkan keberadaan sumber kalor yaitu karbon hanya 52,2%, dimana nilainya lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar premium yang mencapai 86,5% (lihat Tabel 2.5). Nilai kalor yang lebih rendah membuat konsumsi bahan bakar yang lebih besar untuk menghasilkan keluaran daya yang sama.

Nilai *LHV* yang lebih rendah daripada bensin membuat nilai *LHV* campuran bensin bioetanol semakin menurun seiring dengan bertambahnya persentase kadar bioetanol pada campuran, seperti pada tampak Gambar 4.3. Penelitian yang dilakukan oleh Setiyawan dan Heish menggunakan jenis bensin yang berbeda sehingga didapatkan nilai *LHV* bensin (E0) yang bervariasi. Bensin yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai *LHV* sebesar 31,8 MJ/liter atau lebih besar 9,4% dibanding bensin yang digunakan Setiyawan. Pencampuran bioetanol yang memiliki nilai *LHV* sebesar 20,04 MJ/liter membuat nilai *LHV* menurun hingga 10,7% dibanding bensin.



**Gambar 4.3 Nilai kalor beberapa jenis campuran bensin dan bioetanol.**

#### 4.2 Hasil Uji Unjuk Kerja

Hasil uji unjuk kerja dan emisi kendaraan untuk kelompok kontrol (dengan bahan bakar premium) dan kelompok uji (dengan bahan bakar campuran premium dan bioetanol, E5, E10 dan E15 masing-masing dikelompokkan untuk kendaraan uji 1, 2 dan 3. Unjuk kerja dinyatakan dalam torsi dan daya. Selain itu pula didapatkan hasil dari konsumsi bahan bakar spesifik (sfc), dan bmep

## **4.2.1 Torsi dan Daya**

### **4.2.1.a Torsi dan Daya E5**

#### **Torsi**

Torsi merupakan ukuran kemampuan *engine* dalam menghasilkan kerja. Pada kehidupan sehari-hari torsi dari engine berguna untuk mengatasi hambatan di jalan atau untuk mempercepat laju kendaraan. Berdasarkan Gambar 4.4 s/d 4.7 menunjukkan bahwa adanya kecenderungan kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran engine, massa campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran *engine* terus meningkat, kerugian gesek (*friction losses*) pada engine juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut.



**Gambar 4.4.**Unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin pada kondisi awal

Disamping itu, semakin tinggi putaran *engine* waktu pembakaran (*burning duration*) akan berlangsung lebih cepat sehingga dimungkinkan terdapat bahan bakar yang tidak ikut terbakar. Hal tersebut dapat diindikasikan dari komposisi unsur yang tidak terbakar, yaitu CO dan HC pada gas buang yang relatif lebih tinggi. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan nilai torsi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4 s/d 4.7.





**Gambar 4.5.** Unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar E5 pada kondisi awal

Besarnya nilai torsi ditentukan oleh tekanan yang dihasilkan dalam ruang bakar. Apabila tekanannya tinggi maka torsi yang dihasilkan juga tinggi. Berdasarkan Gambar 4.4, melalui pengujian *chassis dynamometer* didapatkan torsi puncak *engine* dengan menggunakan bahan bakar bensin sebesar 133 Nm pada putaran 4400 rpm. Sedangkan ketika menggunakan bahan bakar E5, torsi puncak *engine* yang dihasilkan 135 Nm pada putaran 4400 rpm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5. Dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan torsi puncak *engine* sebesar 1,51 % ketika menggunakan bahan bakar E5.



**Gambar 4.6.** Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin dan E5 pada kondisi awal

Sedangkan kenaikan nilai torsi secara keseluruhan rata-rata sebesar 2,10 %, sebagaimana komparasi secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.6. Kenaikan nilai torsi ini dikarenakan kesesuaian komposisi antara bahan bakar dan udara pembakaran serta tahapan proses yang terjadi, mulai bahan bakar diinjeksikan kedalam saluran intake manifold, bercampur dengan udara pembakaran, dikompresi selama langkah kompresi, periode pengapian serta langkah buang gas hasil pembakaran.

Setelah dilakukan pengujian *durability* sejauh 5.000 km , unjuk kerja berupa torsi dan daya dari kendaraan diuji lagi hasil menunjukkan bahwa torsi puncak *engine* dengan menggunakan bahan bakar premium sebesar 125 Nm pada putaran 4400 rpm. Sedangkan ketika menggunakan bahan bakar E5, torsi puncak *engine* yang dihasilkan 128 Nm pada putaran 4400 rpm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.7. Dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan torsi puncak *engine* sebesar 2,40 % ketika menggunakan bahan bakar E5.

Dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi lebih miskin sehingga meningkatkan nilai *air fue ratio*. Dengan meningkatnya nilai *air fuel ratio* akan berpengaruh pada pembakaran yang lebih efisien. Bertambahnya persentase bioetanol dalam campuran berkorelasi dengan meningkatnya angka oktan bahan bakar, seperti ditunjukkan Gambar 4.4. Angka oktan E5 yang lebih tinggi dari E0 meminimalisir terjadinya knocking pada ruang bakar sehingga didapatkan tekanan pembakaran yang lebih tinggi. Meningkatnya tekanan pembakaran secara otomatis akan meningkatkan nilai torsi (Najafi, G.:2008).



**Gambar 4.7.** Komparasi unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin dan E5 setelah 5.000 km

### Daya E5

Daya yang dihasilkan oleh motor pembakaran dalam ada 3 jenis, yaitu *indicative horse power (ihp)*, *brake horse power (bhp)*, dan *friction horse power (fhp)*. Pada putaran rendah, *fhp* relatif rendah dan akan semakin tinggi ketika putaran mesin semakin tinggi. Secara teoritis, ketika putaran mesin meningkat, maka daya motor juga akan meningkat karena daya merupakan perkalian antara torsi dengan putaran mesin. Akan tetapi, pada kenyataannya pada putaran *engine* yang tinggi tidak

selalu menghasilkan daya yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada putaran engine yang tinggi berbagai kerugian dapat terjadi, seperti, *friction losses*, kenaikan temperatur *overall engine*, dan peristiwa *overlapping*. Meskipun, *engine* ini didesain menggunakan VVTI (*Variable Valve Timing Intelligence*), penurunan daya *engine* pada putaran tersebut masih sedikit terjadi.

Berdasarkan Gambar 4.4 s/d 4.7, *trendline* dari grafik diatas adalah pada putaran 4500 rpm nilai daya *engine (bhp)* cenderung naik namun pada putaran yang lebih tinggi kenaikan daya *engine* lebih landai bahkan dimungkinkan mengalami penurunan. Secara umum dapat dijelaskan bahwa, semakin meningkatnya putaran *engine*, massa campuran yang masuk ke ruang bakar akan semakin besar. Dengan massa campuran bahan bakar yang besar, energi atau kalor yang dapat dikonversi menjadi kerja akan semakin besar. Namun, pada putaran yang lebih tinggi *friction losses* yang terjadi cukup tinggi sehingga sebagian daya yang dihasilkan digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut. Disamping itu, pada putaran yang lebih tinggi terjadi kenaikan temperatur yang cukup signifikan sehingga efisiensi volumetris *engine* cenderung menurun sehingga kenaikan daya *engine* menjadi berkurang, bahkan bisa mengalami penurunan. Sama dengan daya, kenaikan nilai daya ini dikarenakan kesesuaian komposisi antara bahan bakar dan udara pembakaran serta tahapan proses yang terjadi, mulai bahan bakar diinjeksikan kedalam saluran *manifold*, bercampur dengan udara pembakaran, dikompresi selama langkah hisap, periode pengapian serta langkah buang gas hasil pembakaran.

Kenaikan daya puncak antara E5 dan bensin 1,96% dan secara rata-rata sebesar 2,42%. Sedangkan setelah diuji *durability* sejauh 5000 km kenaikan daya puncak 2,1% dan kenaikan daya rata-ratanya sebesar 2,64%.

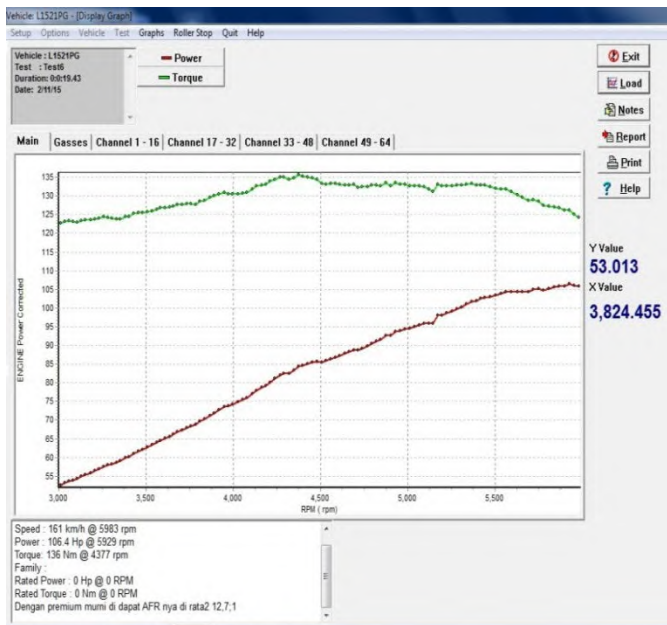
Meningkatnya nilai daya dengan penambahan bioetanol dalam campuran seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 disebabkan bioetanol memiliki nilai latent heat of evaporation yang jauh lebih tinggi dibanding bensin, seperti pada Tabel 2.2. Dengan nilai latent heat of evaporation yang tinggi mengakibatkan bahan bakar cenderung mengambil kalor dalam udara untuk menguap sehingga menurunkan temperatur udara pada *engine*. Turunnya temperatur udara (*cooling effect*) berpengaruh pada meningkatnya densitas campuran bahan bakar sehingga meningkatkan efisiensi volumeris. Meningkatnya efisiensi volumetris inilah yang menyebabkan daya menjadi lebih tinggi

#### **4.2.1b Torsi dan Daya E10**

##### **Torsi E10**

Untuk pengujian mobil 2 yang menggunakan campuran E10, memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan mobil 1. Berdasarkan Gambar 4.8 s/d 4.11 menunjukkan bahwa adanya kecenderungan kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran *engine*, massa campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga

menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran *engine* terus meningkat, kerugian gesek (*friction losses*) pada *engine* juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut.



**Gambar 4.8.** Unjuk kerja daya dan torsi mobil 2 berbahan bakar bensin pada kondisi awal

Sama seperti pada mobil 1 bahwa semakin tinggi putaran *engine* waktu pembakaran (*burning duration*)

akan berlangsung lebih cepat sehingga dimungkinkan terdapat bahan bakar yang tidak ikut terbakar. Hal tersebut dapat diindikasikan dari komposisi unsur yang tidak terbakar, yaitu CO dan HC pada gas buang yang relatif lebih tinggi. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan nilai torsi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8 s/d 4.11.



**Gambar 4.9.** Unjuk kerja daya dan torsi mobil 2 berbahan bakar E10 pada kondisi awal

Besarnya nilai torsi ditentukan oleh tekanan yang dihasilkan dalam ruang bakar. Apabila tekanannya tinggi maka torsi yang dihasilkan juga tinggi. Berdasarkan Gambar 4.9, melalui pengujian *chassis*



dynamometer didapatkan torsi puncak mobil 2 dengan menggunakan bahan bakar premium sebesar 135 Nm pada putaran 4400 rpm. Sedangkan ketika menggunakan bahan bakar E10, torsi puncak mobil 2 yang dihasilkan 140 Nm pada putaran 4400 rpm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.9. Dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan torsi puncak mobil 2 sebesar 3,70 % ketika menggunakan bahan bakar E10.



**Gambar 4.10.** Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 2 berbahan bakar bensin dan E10 pada kondisi awal

Sedangkan kenaikan nilai torsi secara keseluruhan rata-rata sebesar 4,20 %, sebagaimana komparasi secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.10. Kenaikan nilai torsi ini dikarenakan kesesuaian komposisi antara bahan bakar dan udara pembakaran serta tahapan proses yang terjadi, mulai bahan bakar diinjeksikan kedalam saluran *intake manifold*, bercampur dengan udara pembakaran, dikompresi selama langkah komresi, periode pengapian serta langkah buang gas hasil pembakaran



**Gambar 4.11.** Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 2 berbahan bakar bensin dan E10 setelah 5000 km

Setelah dilakukan pengujian *durability* sejauh 5000 km mobil 2 dengan bahan bakar E10, unjuk kerja berupa torsi dan daya dari kendaraan diuji lagi hasil menunjukkan bahwa torsi puncak mobil 2 dengan menggunakan bahan bakar bensin sebesar 134 Nm pada putaran 4400 rpm. Sedangkan ketika menggunakan bahan bakar E10, torsi puncak mobil 2 yang dihasilkan 139 Nm pada putaran 4400 rpm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.11. Dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan torsi puncak mobil 2 sebesar 3,73% ketika menggunakan bahan bakar E10.

Dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi lebih miskin sehingga meningkatkan nilai *air fue ratio*. Dengan meningkatnya nilai *air fuel ratio* akan berpengaruh pada pembakaran yang lebih efisien. Bertambahnya persentase bioetanol dalam campuran berkorelasi dengan meningkatnya angka oktan bahan bakar, seperti ditunjukkan Gambar 2.2. Angka oktan E10 yang lebih tinggi dari E0 meminimalisir terjadinya knocking pada ruang bakar sehingga didapatkan tekanan pembakaran yang lebih tinggi. Meningkatnya tekanan pembakaran secara otomatis akan meningkatkan nilai torsi (Najafi, G.:2008).

### **Daya E10**

Sama seperti pada mobil 1, berdasarkan Gambar 4.8 s/d 4.11, *trendline* dari grafik diatas adalah pada putaran engine 4500 rpm nilai daya engine (bhp) cenderung naikan namun pada putaran yang lebih tinggi kenaikan daya engine lebih landai bahkan dimungkinkan

mengalami penurunan. Untuk pengujian mobil 2 yang menggunakan campuran E10, memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan mobil 1. Berdasarkan Gambar 4.8 s/d 4.11 menunjukkan bahwa adanya kecenderungan kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran *engine*, massa campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran *engine* terus meningkat, kerugian gesek (*friction losses*) pada *engine* juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut.

Kenaikan daya puncak antara E10 dan premium sebesar 2,94% dan secara rata-rata sebesar 2,96%. Sedangkan setelah diuji durability sejauh 5.000 km kenaikan daya puncak 2,97% dan kenaikan daya rata-ratanya sebesar 3,12%.

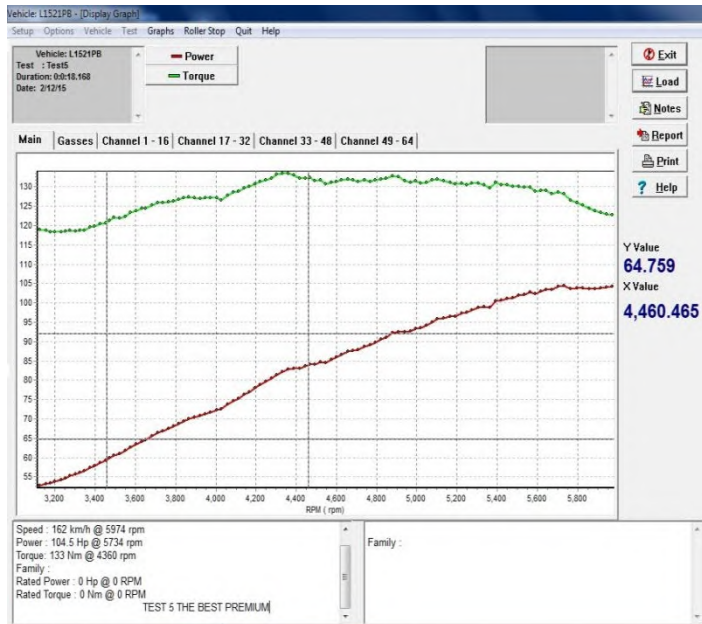
Meningkatnya nilai daya dengan penambahan bioetanol dalam campuran seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11 disebabkan bioetanol memiliki nilai latent heat of evaporation yang jauh lebih tinggi dibanding bensin, seperti pada Tabel 2.2. Dengan nilai latent heat of evaporation yang tinggi mengakibatkan bahan bakar cenderung mengambil kalor dalam udara untuk menguap sehingga menurunkan temperatur udara pada *engine*.

Turunnya temperatur udara (cooling effect) berpengaruh pada meningkatnya densitas campuran bahan bakar sehingga meningkatkan efisiensi volumeris. Meningkatnya efisiensi volumetris inilah yang menyebabkan daya menjadi lebih tinggi.

#### **4.2.1c Torsi dan Daya E15**

##### **Torsi E15**

Untuk pengujian mobil 3 yang menggunakan campuran E15, memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan mobil 1 dan 2. Berdasarkan Gambar 4.12 s/d 4.15 menunjukkan bahwa adanya kecenderungan kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran *engine*, massa campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran *engine* terus meningkat, kerugian gesek (*friction losses*) pada *engine* juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut.



**Gambar 4.12.** Unjuk kerja daya dan torsi mobil 3 berbahan bakar bensin pada kondisi awal

Seperti pada mobil 1 dan 2, bahwa semakin tinggi putaran *engine* waktu pembakaran (*burning duration*) akan berlangsung lebih cepat sehingga dimungkinkan terdapat bahan bakar yang tidak ikut terbakar. Hal tersebut dapat diindikasikan dari komposisi unsur yang tidak terbakar, yaitu CO dan HC pada gas buang yang relatif lebih tinggi. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan nilai torsi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.12 s/d 4.15.



**Gambar 4.13.** Unjuk kerja daya dan torsi mobil 3 berbahan bakar E15 pada kondisi awal

Besarnya nilai torsi ditentukan oleh tekanan yang dihasilkan dalam ruang bakar. Apabila tekanannya tinggi maka torsi yang dihasilkan jugatinggi. Berdasarkan Gambar 4.12, melalui pengujian *chassis dynamometer* didapatkan torsi puncak mobil 3 dengan menggunakan bahan bakar premium sebesar 134,4 Nm pada putaran 4400 rpm. Sedangkan ketika menggunakan bahan bakar E15, torsi puncak mobil 3 yang dihasilkan 135 Nm pada putaran 4400 rpm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.13. Dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan torsi puncak mobil 3 sebesar 0,75 % ketika menggunakan bahan bakar E15.

Sedangkan kenaikan nilai torsi secara keseluruhan rata-rata sebesar 0,8 %, sebagaimana komparasi secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.14. Kenaikan nilai torsi ini dikarenakan kesesuaian komposisi antara bahan bakar dan udara pembakaran serta tahapan proses yang terjadi, mulai bahan bakar diinjeksikan kedalam saluran *intake manifold*, bercampur dengan udara pembakaran, dikompresi selama langkah kompresi, periode pengapian serta langkah buang gas hasil pembakaran.



**Gambar 4.14.** Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 3 berbahan bakar bensin dan E15 pada kondisi awal



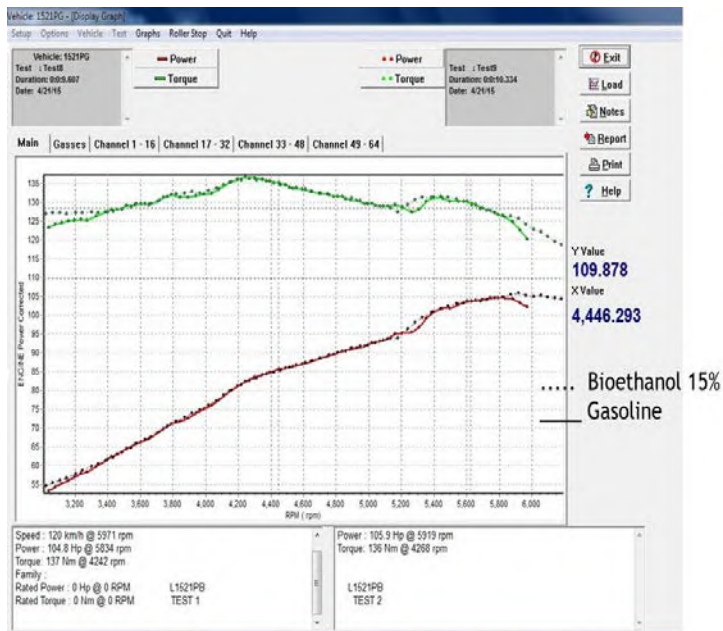
Setelah dilakukan pengujian *durability* sejauh 5000 km mobil 3 dengan bahan bakar E15, unjuk kerja berupa torsi dan daya dari kendaraan diuji lagi hasil menunjukkan bahwa torsi puncak *engine* dengan menggunakan bahan bakar premium sebesar 134,5 Nm pada putaran 4400 rpm. Sedangkan ketika menggunakan bahan bakar E15, torsi puncak *engine* yang dihasilkan 135 Nm pada putaran 4400 rpm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.12. Dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan torsi puncak *engine* sebesar 0,32 % ketika menggunakan bahan bakar E15.

Dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi lebih miskin sehingga meningkatkan nilai *air fue ratio*. Dengan meningkatnya nilai *air fuel ratio* akan berpengaruh pada pembakaran yang lebih efisien. Bertambahnya persentase bioetanol dalam campuran berkorelasi dengan meningkatnya angka oktan bahan bakar, seperti ditunjukkan Gambar 4.4. Angka oktan E15 yang lebih tinggi dari E0 meminimalisir terjadinya *knocking* pada ruang bakar sehingga didapatkan tekanan pembakaran yang lebih tinggi. Meningkatnya tekanan pembakaran secara otomatis akan meningkatkan nilai torsi (Najafi, G.:2008).

### **Daya E15**

Sama seperti pada mobil 1 dan 2, berdasarkan Gambar 4.12 s/d 4.15, *trendline* dari grafik diatas adalah pada putaran engine 4500 rpm nilai daya *engine (bhp)* cenderung naik namun pada putaran yang lebih tinggi kenaikan daya *engine* lebih landai bahkan dimungkinkan

mengalami penurunan. Untuk pengujian mobil 3 yang menggunakan campuran E15, memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan mobil 1 dan 2. Berdasarkan Gambar 4.12 s/d 4.15 menunjukkan bahwa adanya kecenderungan kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi.



**Gambar 4.15.** Komparasi Unjuk kerja daya dan torsi mobil 3 berbahan bakar bensin dan E15 setelah 5000 km

Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran engine, massa campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran engine terus meningkat, kerugian gesek (*friction losses*) pada engine juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut.

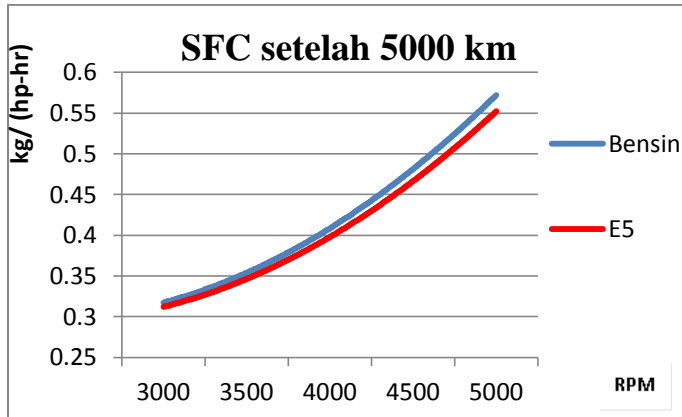
Kenaikan daya puncak antara E15 dan bensin sebesar 0,29% dan secara rata-rata sebesar 0,3%. Sedangkan setelah diuji *durability* sejauh 5.000 km kenaikan daya puncak 0,47% dan kenaikan daya rata-ratanya sebesar 0,48%.

Meningkatnya nilai daya dengan penambahan bioetanol dalam campuran seperti ditunjukkan pada Gambar 4.15 disebabkan bioetanol memiliki nilai latent heat of evaporation yang jauh lebih tinggi dibanding bensin, seperti pada Tabel 2.2. Dengan nilai *latent heat of evaporation* yang tinggi mengakibatkan bahan bakar cenderung mengambil kalor dalam udara untuk menguap sehingga menurunkan temperatur udara pada *engine*. Turunnya temperatur udara (*cooling effect*) berpengaruh pada meningkatnya densitas campuran bahan bakar sehingga meningkatkan efisiensi volumeris. Meningkatnya efisiensi volumetris inilah yang menyebabkan daya menjadi lebih tinggi

#### 4.2.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Pada umumnya konsumsi bahan bakar spesifik atau *breakspecific fuel consumption (bsfc)* pada saat putaran *engine* rendah ke putaran tinggi akan meningkat seiring dengan naiknya putaran *engine*. Hal ini disebabkan semakin tinggi putaran *engine* maka turbulensi aliran bahan bakar juga akan semakin meningkat dan membentuk homogenitas campuran bahan bakar dan udara yang lebih baik yang menghasilkan proses pembakaran lebih sempurna. Pada putaran *engine* yang terlalu tinggi, waktu yang digunakan untuk proses pembakarannya akan lebih sedikit menyebabkan sebagian bahan bakar tidak bisa terbakar secara sempurna.

##### 4.2.2.a Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Mobil 1



**Gambar 4.16.** Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik mobil 1 setelah uji durability

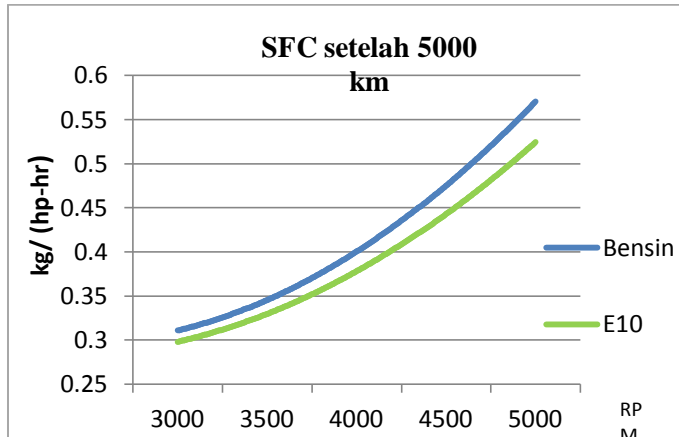
Berdasarkan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa tren grafik pada penggunaan bahan bakar bensin dan

campuran E5 memiliki kecenderungan pada 3000 rpm hingga 5000 rpm memiliki kecenderungan naik. Hal ini dikarenakan besarnya nilai *sfc* sangat ditentukan oleh besarnya *flowrate* bahan bakar dan daya dihasilkan oleh *engine*. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran *engine* maka terjadinya *friction loss* juga semakin besar sehingga menyebabkan *sfc* juga meningkat (Pulkrabek, 1997 hal.57). Secara umum dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar, karena untuk menghasilkan keluaran daya yang sama, dengan nilai *low heating value* bioetanol yang kecil menyebabkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat (Koc, mustafac: 2009). Adapun kecenderungan tren grafik E5 yang nilainya lebih rendah dibanding tren grafik *sfc* bensin bisa disebabkan efisiensi volumetris pada E5 yang lebih baik sehingga efisiensi pembakaran juga akan ikut naik. Efisiensi pembakaran yang naik ini dapat diakibatkan oleh kadar oksigen dalam bioetanol yang cukup tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun. Disini bisa disimpulkan bahwa selama kadar bioetanol tidak melebihi 10%, maka naiknya konsumsi bahan bakar tidak bergantung pada kenaikan kadar bioetanol dalam campuran . Sebaliknya bila diatas 10%, maka *sfc* akan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar bioetanol dalam campuran( A. Elfasakhany: 2015).

Besarnya *specific fuel consumption* minimum *engine* sebesar 0,315 kg/hp.jam pada 3000 rpm. Dibandingkan dengan bahan bakar bensin, penurunan maksimum dengan memakai bahan bakar E5 sebesar

3,5%, sedangkan penurunan rata-ratanya sepanjang putaran *engine* mencapai 2,58%.

#### 4.2.2.b Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Mobil 2



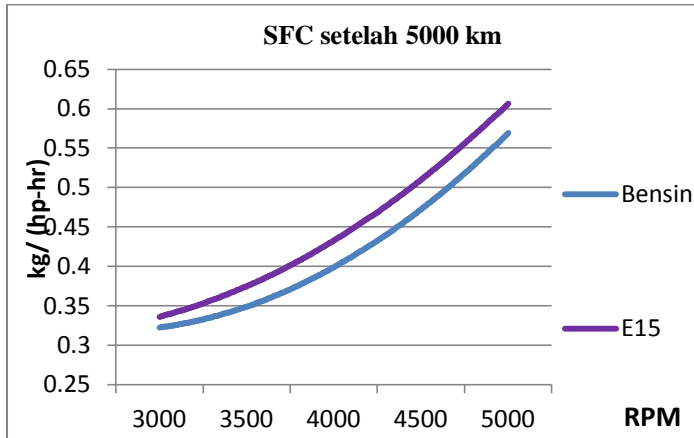
**Gambar 4.17.** Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik mobil 2 setelah uji durability

Berdasarkan Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa tren grafik pada penggunaan bahan bakar bensin dan campuran E10 memiliki kecenderungan pada 3000 rpm hingga 5000 rpm memiliki kecenderungan naik. Hal ini dikarenakan besarnya nilai sfc sangat ditentukan oleh besarnya flowrate bahan bakar dan daya dihasilkan oleh engine. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran engine maka terjadinya friction loss juga semakin besar sehingga menyebabkan sfc juga meningkat (Pulkrabek, 1997 hal.57). Secara umum dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar, karena untuk menghasilkan

keluaran daya yang sama, dengan nilai *low heating value* bioetanol yang kecil menyebabkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat (Koc, mustafac: 2009). Adapun kecenderungan tren grafik E10 yang nilainya lebih rendah dibanding tren grafik sfc bensin bisa disebabkan efisiensi volumetris pada E10 yang lebih baik sehingga efisiensi pembakaran juga akan ikut naik. Efisiensi pembakaran yang naik ini dapat diakibatkan oleh kadar oksigen dalam bioetanol yang cukup tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun. Disini bisa disimpulkan bahwa selama kadar bioetanol tidak melebihi 10%, maka naiknya konsumsi bahan bakar tidak bergantung pada kenaikan kadar bioetanol dalam campuran . Sebaliknya bila diatas 10%, maka sfc akan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar bioetanol dalam campuran ( A. Elfasakhany: 2015).

Besarnya specific fuel consumption minimum engine sebesar 0,32 kg/hp.jam pada 3000 rpm. Dibandingkan dengan bahan bakar bensin, penurunan maksimum dengan memakai bahan bakar E10 sebesar 7,92%, sedangkan penurunan rata-ratanya sepanjang putaran engine mencapai 5,79%.

#### 4.2.2.c Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Mobil 3



**Gambar 4.18.** Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik mobil 3 setelah uji durability

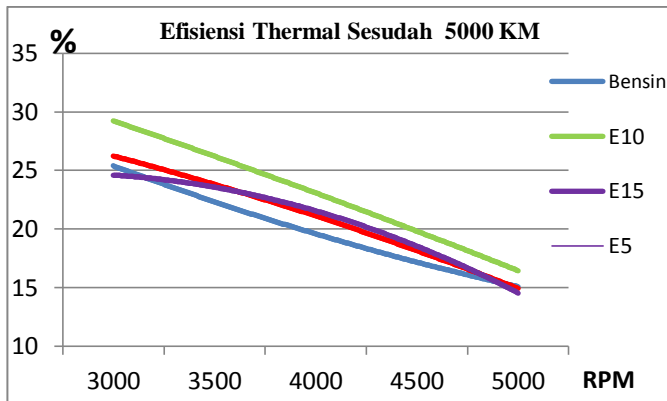
Berdasarkan Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa tren grafik pada penggunaan bahan bakar bensin dan campuran E15 memiliki kecenderungan naik pada 3000 rpm hingga 5000 . Hal ini dikarenakan besarnya nilai sfc sangat ditentukan oleh besarnya *flowrate* bahan bakar dan daya dihasilkan oleh mesin. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran engine maka terjadinya *friction loss* juga semakin besar sehingga menyebabkan sfc juga meningkat (Pulkrabek, 1997 hal.57). Seperti pada Gambar 4.18 dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar, karena untuk menghasilkan keluaran daya yang sama, dengan nilai *low heating value* bioetanol yang kecil menyebabkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat (Koc,



mustafac: 2009). Disini bisa disimpulkan bahwa selama kadar bioetanol tidak melebihi 10%, maka naiknya konsumsi bahan bakar tidak bergantung pada kenaikan kadar bioetanol dalam campuran . Sebaliknya bila diatas 10%, maka sfc akan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar bioetanol dalam campuran ( A. Elfasakhany: 2015).

Besarnya specific fuel consumption minimum engine sebesar 0,326 kg/hp.jam pada 3000 rpm. Dibandingkan dengan bahan bakar bensin, kenaikan maksimum dengan memakai bahan bakar E15 sebesar 9,9% pada putaran 4000 rpm, sedangkan penurunan rata-ratanya sepanjang putaran engine mencapai 6,56%.

#### 4.2.3 Efisiensi Thermal



**Gambar 4.19**Perbandingan efisiensi thermal

Efisiensi thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor

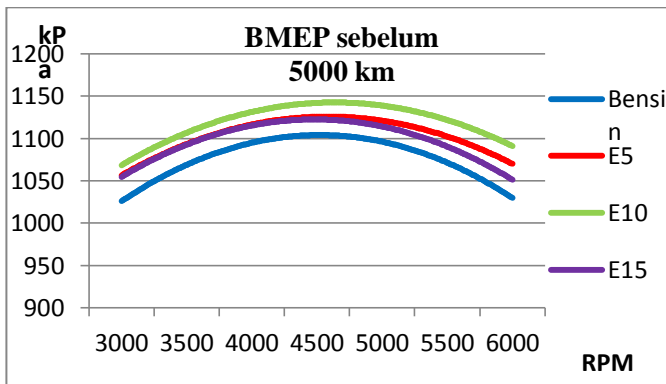
pembakaran dalam. Nilai efisiensi thermal tergantung dari sempurna atau tidaknya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar.

Pada grafik efisiensi thermal fungsi putaran engine memiliki tren grafik yang meningkat mulai dari putaran rendah hingga titik optimum, kemudian akan turun seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Pada saat putaran rendah, maka pencampuran bahan bakar berlangsung kurang optimum, sehingga pembakaran yang terjadi kurang sempurna. Pada titik optimum turbulensi bahan bakar dan waktu pembakaran mencapai kondisi yang terbaik sehingga mendapatkan efisiensi yang tertinggi. Pada penambahan putaran engine yang terlalu tinggi justru turbulensi yang terjadi cukup besar sehingga pencampuran bahan bakar dan udara baik tetapi waktu terjadinya pembakaran sangat cepat sehingga bahan bakar banyak yang terbuang.

Pada gambar 4.19 menunjukkan bahwa efisiensi optimum tertinggi didapat ketika engine menggunakan bahan bakar bensin dengan penambahan 10% ethanol 99.5% sebesar 13,63% dibanding bensin pada putaran engine 3000 rpm, sedangkan efisiensi optimum terendah dihasilkan ketika engine menggunakan bahan bakar bensin dengan penambahan 5% ethanol 99.5% sebesar 1,58% dibanding bensin pada putaran engine 5000 rpm. Secara rata-rata, apabila dibandingkan menggunakan engine berbahan bakar Premium murni besarnya peningkatan efisiensi thermal apabila ditambahkan 10% ethanol 99.5% adalah 14,7 %. Secara umum, dengan penambahan 5%, 10% dan 20% ethanol 99.7%, efisiensi thermal cenderung meningkat. Hal ini diakibatkan karena

pada penambahan ethanol 99.7% dengan konsentrasi tersebut akan menghasilkan campuran kimia yang tepat. Selain itu bisa juga diakibatkan oleh pengkabutan bahan bakar yang lebih baik, sehingga atomisasi bahan bakar menjadi lebih baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih baik pula. Hal ini dapat dibuktikan dengan emisi gas buang HC E5, E10 dan E15 yang lebih rendah dibanding bensin (Gambar 4.23)

#### 4.2.4 Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP)



**Gambar 4.20.** Tekanan Efektif Rata-Rata sebelum 5000 km

Besarnya tekanan yang dialami piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut merupakan tekanan efektif rata-rata piston. Torsi dari suatu engine dipengaruhi oleh bmep, sehingga grafik dari

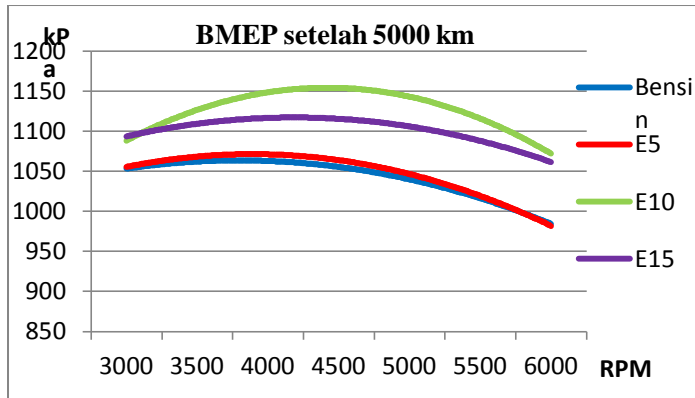
bmp identik dengan torsi, dengan naiknya putaran maka bmp semakin besar. Hal ini terjadi karena tekanan dalam ruang bakar akan semakin meningkat dengan jumlah pembakaran yang terjadi. Namun setelah mencapai titik puncak tertentu akan menurun, karena ledakan yang dihasilkan pembakaran tidak hanya bermanfaat untuk menghasilkan daya, akan tetapi juga digunakan untuk mengatasi losses-losses yang terjadi.

Dari grafik bmp fungsi putaran engine, terlihat adanya tren kenaikan tekanan efektif rata-rata mulai dari putaran rendah hingga mencapai tekanan efektif rata-rata maksimum pada putaran tertentu lalu bmp mengalami penurunan pada putaran engine yang lebih tinggi. Pada gambar 4.20 diatas menunjukkan bahwa tekanan efektif rata-rata maksimum yang tertinggi dihasilkan pada engine yang menggunakan bahan bakar E10 dengan tekanan efektif rata-rata maksimum sebesar 1159,92 kPa pada putaran engine 5000 rpm. Tekanan efektif rata-rata maksimum terkecil dihasilkan pada bahan bakar E0 sebesar 1016,42 kPa.

Secara keseluruhan pada gambar 4.20 terlihat pada bahan bakar Premium dengan penambahan konsentrasi 5%, 10% dan 20% bioetanol 99.7%, memiliki tekanan efektif rata-rata yang semakin tinggi hingga putaran optimum namun perlahan menurun kembali setelah melewati putaran optimumnya. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran engine, massa campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang

homogen, pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran *engine* terus meningkat, kerugian gesek (*friction losses*) pada *engine* juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut.

Dalam grafik ini tampak bahwa tekanan efektif rata-rata optimum terjadi pada saat E10, yang kemudian disusul dengan E5. Hasil *bme<sub>p</sub>* ini sesuai dengan hasil unjuk kerja sebelumnya, seperti torsi, daya dan *sfc* bahwa hasil unjuk kerja paling optimum adalah pada saat pencampuran 10% bioetanol. Hal ini diakibatkan dengan penambahan ethanol yang tepat akan menghasilkan campuran kimia tepat yang mengakibatkan pembakaran yang sempurna. Dengan pembakaran yang sempurna akan memberikan daya ledak yang tinggi di ruang bakar, sehingga tekanan di dalam ruang bakar meningkat. Selain itu bisa juga diakibatkan oleh pengkabutan bahan bakar yang lebih baik, sehingga atomisasi bahan bakar menjadi lebih baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih baik pula.



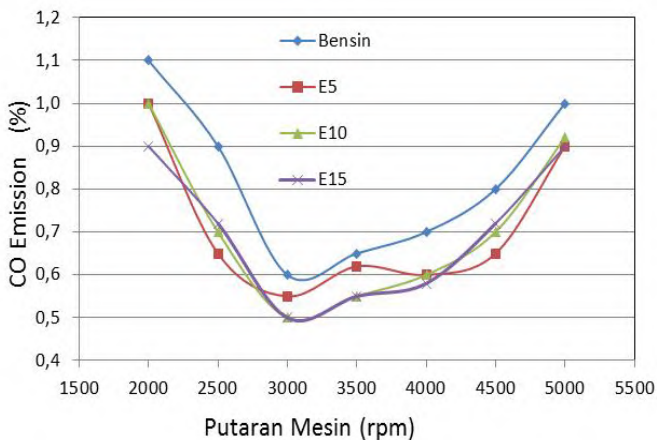
**Gambar 4.21.** Tekanan Efektif Rata-Rata setelah 5000 km

Pada pengujian unjuk kerja setelah uji durability 5000 km pada Gambar 4.21 tampak bahwa tidak ada perbedaan yang cukup signifikan setelah pemakaian selama 5000 km. Bmep tertinggi terjadi pada persentase bioetanol 10% dengan nilai tertinggi pada putaran 4500 rpm dengan nilai bmep sebesar 1169,22 kPa. Pada grafik itu pula diperlihatkan nilai bmep terendah terjadi pada E0 dengan nilai bmep sebesar 1046,32 kPa pada putaran 4000 rpm.

### 4.3 Analisis Emisi Gas Buang

Gas buang yang diukur dalam pengujian ini adalah emisi karbon monoksida (CO) dan hidro karbon (HC). Karbon monoksida pada gas buang diakibatkan oleh pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar yang tidak terbakar secara sempurna, dikarenakan kurangnya jumlah udara dalam campuran bahan bakar-udara yang masuk

kedalam ruang bakar atau bisa juga disebabkan oleh waktu yang tersedia untuk menyelesaikan proses pembakaran. Emisi karbon monoksida juga sangat ditentukan oleh kualitas campuran, homogenitas dan perbandingan udara-bahan bakar. Kurangnya pasokan oksigen dalam campuran menyebabkan karbon tidak bereaksi dengan sempurna sehingga terbentuk CO. Pada grafik emisi CO fungsi putaran engine memiliki tren grafik yang cenderung menurun mulai putaran engine rendah hingga mencapai titik optimum lalu akan meningkat kembali dengan semakin naiknya putaran engine.



**Gambar 4.22.** Besarnya Emisi CO Mobil uji setelah uji durability

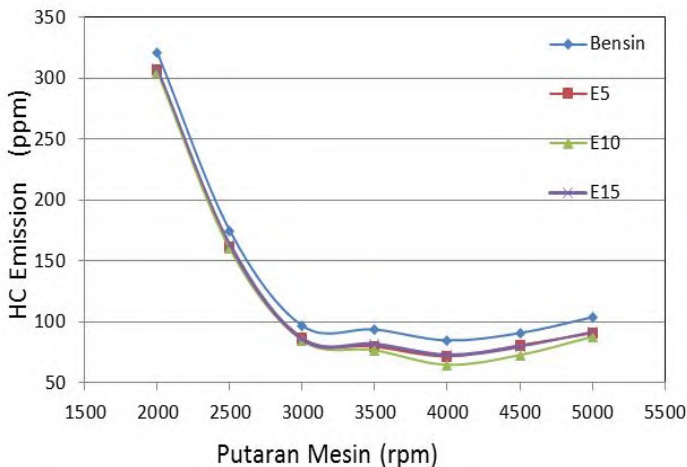
Pada Gambar 4.22 terjadi tren penurunan emisi CO pada berbagai kondisi operasi mesin saat menggunakan bensin maupun campuran dengan bioetanol.

Pada Gambar 4.22 tersebut diketahui bahwa terjadi tren penurunan emisi CO pada putaran 2000 sampai 3000 rpm, hal ini dikarenakan pada putaran engine tersebut bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar semakin tercampur secara homogen sehingga menyebabkan proses pembakaran di dalam ruang bakar semakin baik dan menghasilkan kenaikan torsi, namun setelah putaran engine melebihi 3000 hingga 5000 rpm terjadi kenaikan emisi CO, hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran engine maka semakin banyak pula bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar, sehingga ada sebagian bahan bakar yang tidak sempat terbakar dikarenakan waktu terjadinya proses pembakaran semakin sempit seiring meningkatnya putaran engine. Hal ini menyebabkan bahan bakar yang tidak tercampur tersebut tidak bereaksi dengan baik dengan oksigen, sehingga ikut keluar dari ruang bakar sebelum terjadi proses pembakaran. Nilai minimum emisi CO adalah pada bahan bakar campuran E10 dan E 15, yaitu sebesar 0,5% pada putaran mesin 3000 rpm. Secara keseluruhan rata-rata emisi CO terendah terjadi pada E15 dengan penurunan mencapai 15,30%, sedangkan untuk E10 penurunannya 13,57%.

Sedangkan untuk emisi hidrokarbon disebabkan oleh ketidaksempurnaan pembakaran, yang erat kaitannya dengan desain mesin dan variabel operasi. Selama proses kompresi dan pembakaran, kenaikan tekanan pada ruang bakar memaksa sejumlah gas untuk masuk ke celah-celah kecil dalam ruang bakar. Gas ini akan keluar pada langkah ekspansi dan langkah buang dan merupakan salah satu sumber hidrokarbon pada gas buang engine. Sumber yang



lain adalah lapisan pelumas yang menempel pada dinding piston atau silinder head. Lapisan pelumas ini bisa menyerap kembali komponen hidrokarbon dalam campuran (sebelum dan sesudah pembakaran) sehingga memungkinkan sejumlah bahan bakar lolos ketika terjadi pembakaran. Secara umum kadar emisi HC akan menurun seiring dengan meningkatnya putaran engine diakibatkan ketika putaran bertambah tinggi maka homogenitas campuran bahan bakar dan udara semakin baik, namun hal itu terjadi hingga putaran engine tertentu. Bila putaran bertambah cepat, maka waktu pembakaran akan semakin sempit sehingga kadar bahan bakar yang belum terbakar akan lebih besar lagi



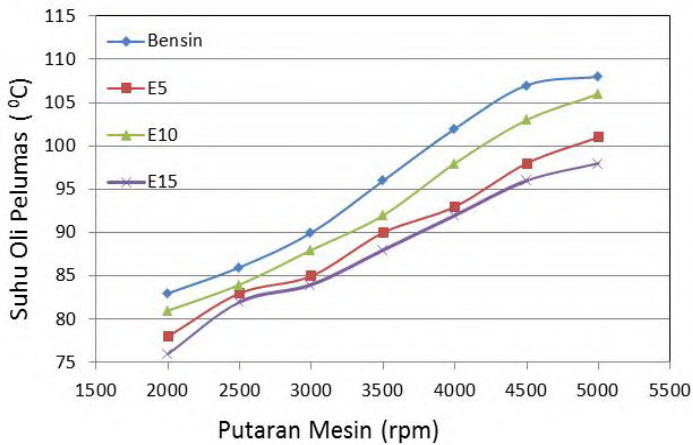
**Gambar 4.23.** Besarnya Emisi HC Mobil uji setelah uji durability

Penggunaan bahan bakar campuran dengan bioetanol secara umum menurunkan emisi HC daripada saat penggunaan bahan bakar bensin murni, hal ini dikarenakan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar yang bercampur dengan oksigen terjadi secara homogen, sehingga proses pembakaran di dalam ruang bakar semakin sempurna. Pada Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa ketika menggunakan bahan bakar campuran dengan bioetanol terjadi penurunan emisi HC hingga pada putaran engine 4000 rpm, namun setelah itu terjadi kenaikan, hal ini dikarenakan semakin cepat putaran engine maka waktu terjadinya proses pembakaran semakin sempit, sehingga ada sebagian kecil bahan bakar campuran bioetanol yang tidak terbakar yang akan keluar dari ruang bakar sehingga menyebabkan kenaikan emisi HC pada putaran engine diatas 4000 rpm. Nilai minimum emisi HC ketika engine menggunakan bahan bakar E10 dengan emisi HC sebesar 65 ppm. Secara rata-rata emisi HC E10 mengalami penurunan sebesar 11,79% dibandingkan bahan bakar bensin.

#### **4.4. Analisis Suhu**

##### **4.4.1 Suhu Oli Pelumas**

Oli pelumas merupakan cairan yang berfungsi untuk melumasi komponen-komponen mesin yang bergerak sehingga dapat mengurangi terjadinya gesekan antar komponen-komponen mesin tersebut, selain itu juga pelumas berfungsi untuk mengurangi panas dari engine. Seiring dengan semakin meningkatnya temperatur engine karena kenaikan putaran engine, maka temperatur pelumas juga akan semakin meningkat.



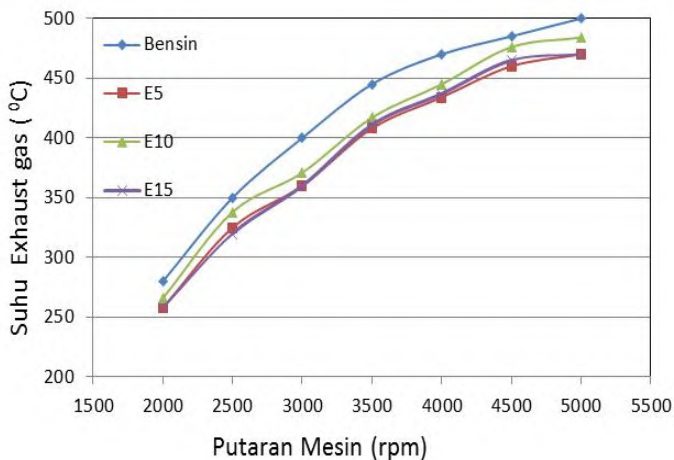
**Gambar 4.24.** Besarnya suhu oli pelumas fungsi putaran mesin setelah uji durability

Pada Gambar 4.24 di atas menunjukkan besarnya oli pelumas terhadap putaran mesin. Berdasarkan Gambar 4.24 tersebut menunjukkan bahwa besarnya suhu cenderung bertambah seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Semakin meningkatnya putaran mesin maka jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan semakin banyak, sehingga panas pembakaran yang dilepas ke dinding silinder juga semakin meningkat, hal ini menyebabkan temperatur oli pelumas juga akan naik. Dari pengujian bahan bakar premium murni dan campuran premium dengan bioetanol E5, E10 dan E15 menunjukkan bahwa pemakaian campuran E5, E10 dan E15 dapat menurunkan besarnya suhu oli pelumas. Dibandingkan dengan rata-rata suhu oli pelumas menggunakan premium murni, campuran E5 mengalami

penurunan sebesar 6,55 %, campuran E10 mengalami penurunan 2,98% dan campuran E15 mengalami penurunan 8,33%. Penurunan suhu oli pelumas terjadi karena campuran bioetanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan premium, sehingga pelepasan kalor selama proses pembakaran lebih rendah.

#### 4.4.2. Suhu Gas Buang

Suhu gas buang merupakan suhu yang timbul dari adanya proses pembakaran di dalam ruang bakar, temperatur exhaust gas diukur pada lubang exhaust dengan menggunakan thermokopel.



**Gambar 4.25.** Besarnya suhu oli exhaust gas fungsi putaran mesin setelah uji durability

Pada Gambar 4.25 dapat dilihat bahwa secara umum terjadi penurunan temperatur exhaust ketika

menggunakan bahan bakar campuran dengan bioetanol, baik E5, E10 maupun E15. Nilai temperatur maksimum exhaust ketika menggunakan bahan bakar premium mencapai 500°C pada putaran 5000 rpm dan pada saat menggunakan bahan bakar campuran dengan bioetanol suhu exhaust dibawah 470°C. Penurunan suhu exhaust gas terjadi karena campuran bioetanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan premium, sehingga pelepasan kalor selama proses pembakaran lebih rendah.

#### **4.5 Karakteristik Minyak Pelumas**

Pelumas merupakan zat kimia berbentuk cairan yang diberikan diantara dua benda yang bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Zat ini merupakan fraksi hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu 105 – 1350C. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan. Pada pengujian ini, mesin mobil menggunakan minyak pelumas PRIMA XP SAE 20W-50. Selengkapnya spesifikasi teknis dari minyak pelumas, hasil uji properties minyak pelumas setelah dioperasikan selama 5000 km dengan bahan bakar bensin dan campuran dengan bioetanol E5, E10 dan E15 ditunjukkan pada Tabel 4.2 s/d 4.4

**Tabel 4.2.** Properties minyak pelumas mesin bensin jenis PRIMA XP SAE 20W-50

Typical Characteristics	PRIMA XP
No. SAE	20W-50
Specific gravity, 15/4° C	0.8855
Kinematic Viscosity, at 40° C, cSt	185.91
_____ 100° C, cSt	19.95
CCS Visc at -10 C, cP	4400
Viscosity Index	126
Colour, ASTM	L3.0
Flash Point, COC, °C	227
Pour Point, °C	-27
Total Base Number, mg KOH/g	6.10

**Tabel 4.3** Properties minyak pelumas mobil bensin setelah 5000 km

PARAMETER	HASIL uji			UNIT
	Mobil 1 (bensin)	Mobil 2 (bensin)	Mobil 3 (bensin)	
Kinematic Viscosity at 40 °	76,6	70	74,46	CST
Kinematic Viscosity at 100 °	11,1	11,02	11,75	CST
Densitas 15°	0,87	0,86	0,87	g/ml
Flash Point	198	206	198	C
Water Content	0,22	0,32	0,12	%
Fe	14,86	18,68	16,42	PPM
Al	3,82	3,22	2,44	PPM
Cu	0,36	0,24	0,3	PPM
Ni	1,62	1,24	2,1	PPM
Pb	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
Cr	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
TAN/TBN	24,2	14,8	18,24	mg KOH/g

**Tabel 4.4** Properties minyak pelumas mobil bensin bioetanol setelah 5000 km

PARAMETER	HASIL uji			UNIT
	Mobil 1 (E5)	Mobil 2 (E10)	Mobil 3 (E15)	
Kinematic Viscosity at 40 °	76,91	70,08	74,83	CST
Kinematic Viscosity at 100 °	12,27	11,87	12,86	CST
Densitas 15°	0,87	0,87	0,87	g/ml
Flash Point	188	192	196	C
Water Content	0,1	0,11	0,08	%
Fe	15,05	17,96	15,41	PPM
Al	4	2,66	2,03	PPM
Cu	0,38	1,83	0,35	PPM
Ni	1,32	1,43	1,29	PPM
Pb	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
Cr	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
TAN/TBN	25,89	14,9	20,89	mg KOH/g

Berdasarkan properties minyak pelumas untuk mobil uji setelah dioperasikan sejauh 5000 km menunjukkan bahwa pencampuran premium dengan bioetanol menyebabkan hal-hal sebagai berikut:

- Viskositas kinematis relatif lebih tahan dibandingkan dengan bahan bakar premium
- Densitas dan flash point relatif stabil
- Water content mengalami penurunan tipis
- Kandungan unsur-unsur relatif tidak ada perubahan
- TAN mengalami sedikit kenaikan

#### a. Elemen Aluminium

Dari hasil pengujian minyak pelumas untuk mesin bensin setelah dioperasikan selama 5000 km menunjukkan bahwa pengaruh pemakaian aditif menyebabkan adanya

indikasi kenaikan pada elemen Al sebesar 0,12 ppm pada E5, sedangkan pada E10 dan E5 terjadi penurunan elemen Al. Kenaikan pada elemen ini dapat mempengaruhi tingkat laju keausan pada piston yang dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan piston, sehingga *cleanlines* pada antar permukaan piston semakin tidak rata sehingga menimbulkan gesekan yang berlebihan dan pada akhirnya akan menyebabkan kenaikan pada suhu engine. Kenaikan suhu pada engine dapat menyebabkan pelumasan pada ruang bakar berkurang dan menurunkan kinerja yang dihasilkan oleh engine.

#### b. Elemen Fe

Pada dasarnya elemen Fe merupakan parameter dari wear metal yang terjadi pada komponen engine, jadi semakin tinggi hasil analisa dari elemen Fe berarti semakin banyak pula komponen – komponen pada engine ini yang mengalami keausan ataupun terkikis. Apabila melihat hasil pengujian minyak pelumas, elemen Fe mengalami kenaikan sebesar 0,17 ppm pada E5, sedangkan E10 dan E15 mengalami penurunan nilai Fe. Hal ini sebagai berpotensi terjadinya *wear metal* pada engine ini.

Hal yang menjadi perhatian pembakaran dengan menggunakan campuran bioetanol adalah terjadinya korosi galvanik pada mesin. Korosi galvanik adalah jenis korosi yang terjadi ketika dua macam logam yang berbeda berkontak secara langsung dalam media korosif. Korosi ini terjadi karena proses elektro kimiawi dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit sama. Dimana electron mengalir dari metal



kurang mulia (anodik) menuju metal yang lebih mulia (katodik), akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion – ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuklah sumur - sumur karat (*surface attack*) atau serangan karat permukaan. Etanol memiliki konduktivitas elektrik lebih besar dibanding bensin ( $1,35 \times 10^{-3}$  uS/cm berbanding  $10^{-6}$  uS/cm). Ditambah lagi dengan kadar  $O_2$  etanol yang tinggi membuat etanol dapat teroksidasi menjadi asam asetat. Asam asetat ini meningkatkan nilai konduktivitas elektrik (41 uS/cm untuk 0,1M asam asetat) sehingga memperbesar terjadinya korosi galvanik.

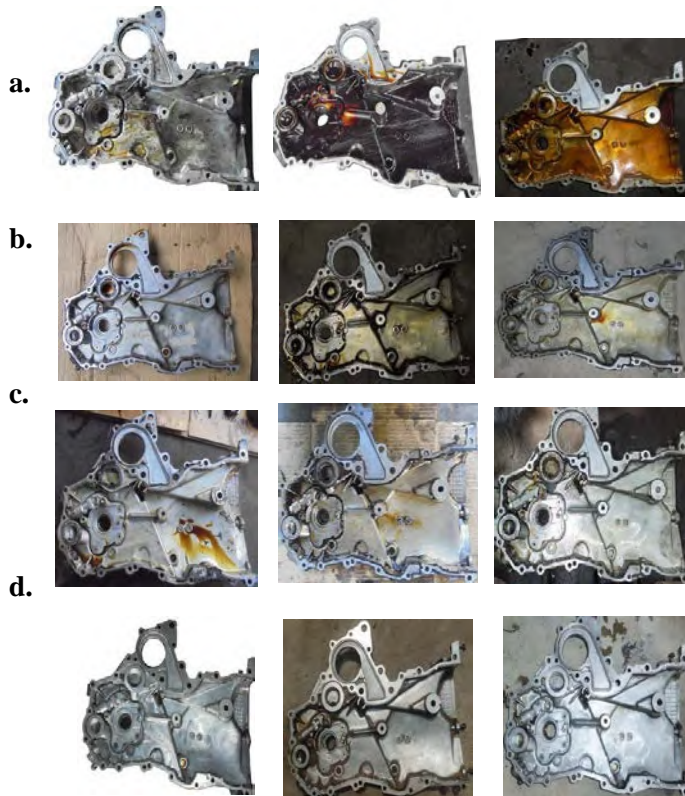
Melihat hasil dari pengujian unsur pada pelumas dan visualisasi ruang bakar pada Gambar, tampak tidak ada perbedaan yang signifikan dengan penambahan etanol pada bensin. Berarti dapat disimpulkan bahwa campuran bioetanol dengan bensin dibawah hingga 15% tidak menimbulkan keausan dan terjadinya korosi galvanik. Selain itu kadar  $O_2$  pada etanol yang tinggi dapat merusak ikatan karbon pada karet seal sehingga berbahaya bagi bahan bakar apabila seal sampai bocor. Solusi yang bisa diberikan adalah dengan mengganti material karet *seal* dengan yang lebih baik, seperti Viton<sup>[5]</sup>. Namun dengan pembongkaran mesin saat pembersihan, tidak terjadi kerusakan pada seal setelah pemakaian dengan bioetanol.

#### **4.6 Visualisasi Pengotoran pada Ruang Bakar**

Visualisasi pengotoran ruang bakar dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pemakaian bahan bakar campuran premium dan bioetanol dan bahan bakar murni setelah pemakaian 5.000 km. Hal ini sangat penting mengingat faktor pengotoran dapat mempengaruhi unjuk kerja dan umur mesin. Visualisasi pengotoran yang dilakukan meliputi visualisasi pada *casing* samping, visualisasi pada *piston* dan *combustion chamber*, visualisasi pada *cylinder head* pandangan atas maupun pandangan bawah serta visualisasi pada busi. Mobil 1, 2 dan 3 secara berturut-turut adalah mobil yang pada saat uji durability bioetanol menggunakan kadar 5, 10 dan 15%. Sedangkan saat uji durability bensin, semua mobil menggunakan 100% bensin.

#### 4.6.1 Visualisasi Pengotoran pada *Casing* Samping

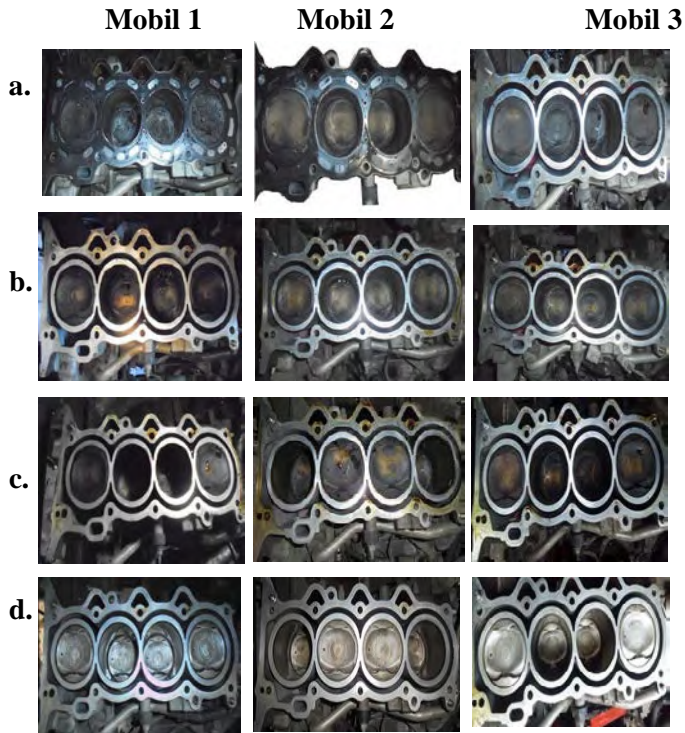
Mobil 1	Mobil 2	Mobil 3
---------	---------	---------



**Gambar 4.26** Visualisasi pengotoran pada *casing* samping, a).sebelum pengujian,b).setelah pengujian 5000 km bioetanol, c).setelah pengujian 5000 km bensin, d).setelah dibersihkan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.26, untuk visualisasi pada *casing* samping pada kondisi awal menunjukkan bahwa pengotoran yang paling tinggi adalah pada kondisi awal pengujian. Hal ini dikarenakan saat pengujian pemakaian mobil E5, E10 dan E15 berturut-turut sudah mencapai 207.000 km, 194.000 km dan 206.000 km, sehingga pengotoran yang terjadi relatif lebih banyak. Sedangkan pada pemakaian 5.000 km dengan memakai bahan bakar E5, E10, E15 dan premium murni relatif tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, hanya pengotoran oli pada bahan bakar premium murni lebih banyak. Sedangkan pengotoran yang menempel permanen relatif tidak ada perbedaan. Sedangkan untuk baris paling bawah menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses pembersihan kondisi ketiganya (kondisi awal, 5.000 km E5 dan 5.000 km premium ) relatif sama.

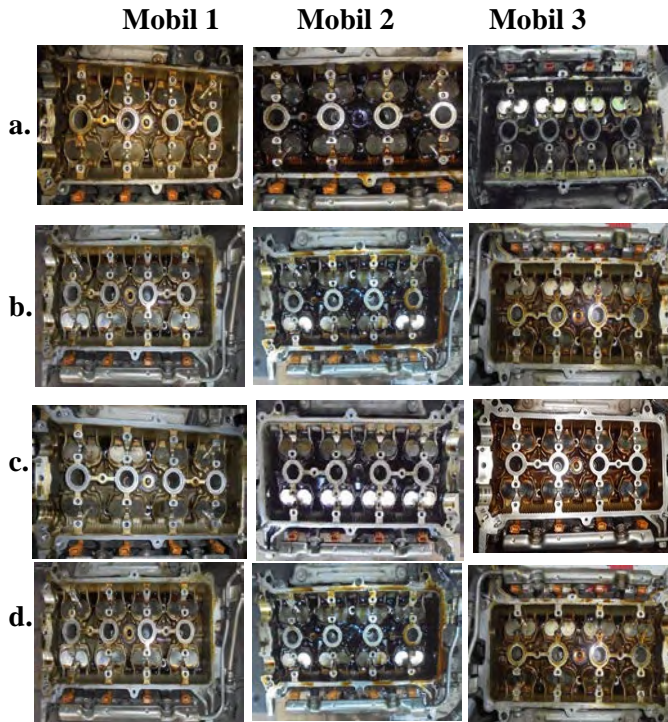
#### 4.6.2 Visualisasi Pengotoran pada Piston dan Combustion Chamber



**Gambar 4.27** Visualisasi pengotoran pada piston dan *combustion chamber*, a).sebelum pengujian, b).setelah pengujian 5000 km bioetanol, c).setelah pengujian 5000 km bensin, d).setelah dibersihkan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.27, untuk visualisasi pada piston dan combustion chamber pada kondisi awal menunjukkan bahwa pengotoran yang paling tinggi adalah pada kondisi awal pengujian. Hal ini dikarenakan saat pengujian pemakaian mobil E5, E10 dan E15 berturut-turut sudah mencapai 207.000 km, 194.000 km dan 206.000 km, sehingga pengotoran yang terjadi relatif lebih banyak. Sedangkan pada pemakaian 5.000 km dengan memakai bahan bakar E5, E10, E15 dan premium murni relatif tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, hanya pengotoran oli pada bahan bakar premium murni lebih banyak. Sedangkan pengotoran yang menempel permanen relatif tidak ada perbedaan. Sedangkan untuk baris paling bawah menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses pembersihan kondisi ketiganya (kondisi awal, 5.000 km E5 dan 5.000 km premium ) relatif sama.

#### 4.6.3 Visualisasi Pengotoran pada *Cylinder Head* Pandangan Atas

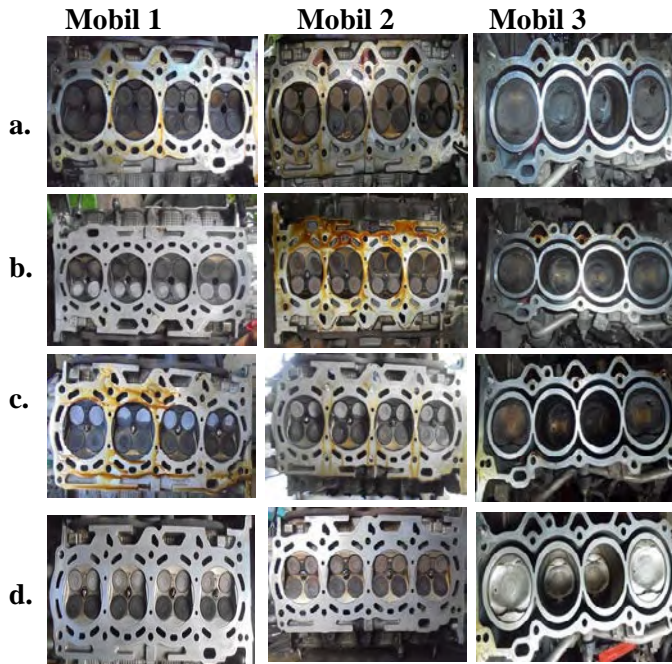


**Gambar 4.28** Visualisasi pengotoran pada *Cylinder Head*  
Pandangan Atas, a).sebelum pengujian, b).setelah  
pengujian 5000 km bioetanol, c). setelah pengujian 5000  
km bensin, d).setelah dibersihkan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.28, untuk visualisasi *Cylinder Head* pandangan atas pada kondisi awal menunjukkan bahwa pengotoran yang paling tinggi adalah pada kondisi awal pengujian. Hal ini dikarenakan saat pengujian pemakaian mobil E5, E10 dan E15 berturut-turut sudah mencapai 207.000 km, 194.000 km dan 206.000 km, sehingga pengotoran yang terjadi relatif lebih banyak. Sedangkan pada pemakaian 5.000 km dengan memakai bahan bakar E5, E10, E15 dan premium murni relatif tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, hanya pengotoran oli pada bahan bakar premium murni lebih banyak. Sedangkan pengotoran yang menempel permanen relatif tidak ada perbedaan. Sedangkan untuk baris paling bawah menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses pembersihan kondisi ketiganya (kondisi awal, 5.000 km E5 dan 5.000 km premium ) relatif sama.



#### 4.6.4 Visualisasi Pengotoran pada *Cylinder Head* Pandangan Bawah



**Gambar 4.29** Visualisasi Pengotoran pada *Cylinder Head*  
Pandangan Bawah, a).sebelum pengujian, b).setelah  
pengujian 5000 km bioetanol, c). setelah pengujian 5000  
km bensin, d).setelah dibersihkan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.29, untuk visualisasi *Cylinder Head* pandangan bawah pada kondisi awal menunjukkan bahwa pengotoran yang paling tinggi adalah pada kondisi awal pengujian. Hal ini dikarenakan saat pengujian pemakaian mobil E5, E10 dan E15 berturut-turut sudah mencapai 207.000 km, 194.000 km dan 206.000 km, sehingga pengotoran yang terjadi relatif lebih banyak. Sedangkan pada pemakaian 5.000 km dengan memakai bahan bakar E5, E10, E15 dan premium murni relatif tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, hanya pengotoran oli pada bahan bakar premium murni lebih banyak. Sedangkan pengotoran yang menempel permanen relatif tidak ada perbedaan. Sedangkan untuk baris paling bawah menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses pembersihan kondisi ketiganya (kondisi awal, 5.000 km E5 dan 5.000 km premium ) relatif sama.

#### 4.6.5 Visualisasi Pengotoran pada Busi



**Gambar 4.30** Visualisasi Pengotoran pada Busi,  
a).sebelum pengujian, b).setelah pengujian 5000 km  
bioetanol, c). setelah pengujian 5000 km bensin, d).setelah  
dibersihkan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.30, untuk visualisasi busi pada kondisi awal menunjukkan bahwa pengotoran yang paling tinggi adalah pada kondisi awal pengujian. Hal ini dikarenakan saat pengujian pemakaian mobil E5, E10 dan E15 berturut-turut sudah mencapai 207.000 km, 194.000 km dan 206.000 km, sehingga

pengotoran yang terjadi relatif lebih banyak. Sedangkan pada pemakaian 5.000 km dengan memakai bahan bakar E5, E10, E15 dan premium murni relatif tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, hanya pengotoran oli pada bahan bakar premium murni lebih banyak. Sedangkan pengotoran yang menempel permanen relatif tidak ada perbedaan. Sedangkan untuk baris paling bawah menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses pembersihan kondisi ketiganya (kondisi awal, 5.000 km E5 dan 5.000 km premium ) relatif sama.

#### **4.7 Rekapitulasi Hasil Uji *Durability* 5000 km**

Hasil rekapitulasi pengujian *durability* sejauh 5000 km yang terdiri dari besarnya jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, suhu mesin serta perubahan kondisi operasional mesin ditabelkan pada Tabel 4.5 s/d 4.7. Berdasarkan rekapitulasi tersebut bahwa pencampuran bioetanol sampai 10% dapat menaikkan besarnya jarak tempuh per liter bahan bakar, yaitu 2,02% pada campuran E5 dan 4,12 % pada campuran E10. Sedangkan pada campuran 15% konsumsi bahan bakar cenderung meningkat yaitu sampai 3,43%. Hal ini disebabkan bahwa pada pencampuran sampai dengan 10% bioetanol menghasilkan ketepatan proses atomisasi, pembakaran dan pembentukan emisi sehingga berdampak pada proses pembakaran yang lebih baik meskipun dari sisi kandungan nilai kalor bahan bakar untuk bioetanol lebih rendah. Tetapi pada pencampuran bioetanol 15 % dampak positif yang dihasilkan diatas tidak mampu untuk mengatasi dampak negatif kandungan kalor tersebut sehingga hasilnya terjadi kenaikan konsumsi bahan bakar.

Pencampuran bioetanol pada premium tidak banyak memberikan perubahan pada suhu operasional mesin, bahkan cenderung menurunkan suhu operasional mesin, yaitu mencapai 3,02% pada campuran 15%. Sedangkan secara keseluruhan penambahan bioetanol sampai 15% tidak mengalami perubahan pada kondisi operasional mesin, sehingga dapat dikatakan operasionalnya lancar dan tidak terkendala.

Berdasarkan data dari *worksheet* yang diisi oleh pada driver selama menjalankan mobil E5, E10 dan E15 tidak ditemukan adanya keluhan pada kondisi operasional mobil, seperti suhu mesin, tarikan dan kondisi saat start dingin. Beban yang digunakan selama uji *durability* ini adalah random, yang mayoritas diisi oleh satu sopir dan satu penumpang. Medan jalan yang ditempuh selama uji *durability* ini hampir seimbang, antara jalan perkotaan dengan jalan lintas antarkota, dengan persentase 55% berbanding 45%.

# **Rekapitulasi Hasil Uji Durability 5000 km** **Bahan Bakar Bioetanol (E5)**

Mobil 1. No. Polisi : L 1521 PD						
No	Parameter Uji	Bahan Bakar Bensin murni		Bahan Bakar campuran E5		
1	Waktu pengujian	Mulai	Selesai	Mulai	Selesai	
		14/04/2015	29/05/2015	17/02/2015	04/04/2015	
2	Penunjukan kilometer pada Spidometer (km)	Awal Pengujian	Akhir Pengujian	Awal Pengujian	Akhir Pengujian	
		213334	218396	208125	213184	
3	Jumlah Jarak Tempuh (km)	5062		5059		
4	Jumlah Konsumsi bahan bakar (ltr)	490		480		
5	Jarak tempuh per liter (km/ltr)	10.33		10.54		
6	Rata-rata Suhu Mesin (°C)	99.4		98.9		
Perbandingan hasil Pemakaian E5 dibandingkan dengan premium murni						
7	Penurunan suhu operasional mesin (%)			0.52		
8	Kenaikan jarak tempuh per liter (%)			2.02		
Jika Menggunakan bahan bakar premium subsidi						
9	Harga premium per liter	Rp	7.400			
10	Harga Bioetanol	Rp	9.000			
11	Total Konsumsi bahan bakar selama 5000 km operasi (ltr)	484.00		474.40		
12	Total Biaya operasional selama 5000 km operasi	Rp		Rp		
13	Pengurangan Biaya Operasional	Rp		Rp		
13	Persentase Pengurangan biaya operasional (%)			0.92		

**Gambar 4.31** Rekapitulasi hasil uji durability mobil 1

### Rekapitulasi Hasil Uji Durability 5000 km Bahan Bakar Bioetanol (E10)

Mobil 1. No. Polisi : L 1521 PG						
No	Parameter Uji	Bahan Bakar Bensin murni		Bahan Bakar campuran E10		
		Mulai	Selesai	Mulai	Selesai	
1	Waktu pengujian	14/04/2015	30/05/2015	17/02/2015	04/04/2015	
2	Penunjukan kilometer pada Spidometer (km)	Awal Pengujian 199862	Akhir Pengujian 204961	Awal Pengujian 194624	Akhir Pengujian 199772	
3	Jumlah Jarak Tempuh (km)		5099		5148	
4	Jumlah konsumsi bahan bakar (ltr)		495		480	
5	Jarak tempuh per liter (km/ltr)		10,30		10,73	
6	Rata-rata Suhu Mesin (°C)		98,1		97,4	
Perbandingan hasil Pemakaian E10 dibandingkan dengan premium murni						
7	Penurunan suhu operasional mesin (%)				0,71	
8	Kenakan Jarak tempuh per liter (%)				4,12	
Jika Menggunakan bahan bakar premium subsidi						
9	Harga premium per liter	Rp	7.400			
10	Harga Bioetanol	Rp	9.000			
11	Total konsumsi bahan bakar selama 5000 km operasi (ltr)		485,39		466,20	
12	Total Biaya operasional selama 5000 km operasi	Rp	3.591.881	Rp		
13	Pengurangan Biaya Operasional	Rp				3.487.179
13	Persentase Pengurangan biaya operasional (%)					104,701
						2,91

**Gambar 4.32** Rekapitulasi hasil uji durability mobil 2

**Rekapitulasi Hasil Uji Durability 5000 km**  
**Bahan Bakar Bioetanol (E15)**

Mobil 1. No. Polisi : L 1521 PB						
No	Parameter Uji	Bahan Bakar Bensin murni		Bahan Bakar campuran E15		
		Mulai	Selesai	Mulai	Selesai	
1	Waktu pengujian	15/04/2015	29/05/2015	17/02/2015	10/04/2015	
2	Penunjukan kilometer pada Spidometer (km)	Awal Pengujian 211244	Akhir Pengujian 216412	Awal Pengujian 205809	Akhir Pengujian 211110	
3	Jumlah Jarak Tempuh (km)		5168		5301	
4	Jumlah Konsumsi bahan bakar (ltr)		499		530	
5	Jarak tempuh per liter (km/ltr)		10,36		10,00	
6	Rata-rata Suhu Mesin (°C)		96,3		93,4	
Perbandingan hasil Pemakaian E15 dibandingkan dengan premium murni						
7	Penurunan suhu operasional mesin (%)		3,02			
8	Kenaikan Jarak tempuh per liter (%)		-3,43			
Jika Menggunakan bahan bakar premium subsidi						
9	Harga premium per liter	Rp	7.400			
10	Harga Bioetanol	Rp	9.000			
11	Total Konsumsi bahan bakar selama 5000 km operasi (ltr)		482,78		499,91	
12	Total Biaya operasional selama 5000 km operasi	Rp	3.572.562	Rp		3.739.294
13	Pengurangan Biaya Operasional	Rp				(166.733)
13	Persentase Pengurangan biaya operasional (%)		-4,67			

**Gambar 4.33** Rekapitulasi hasil uji durability mobil 3





## KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan rangkaian kegiatan pengujian yang telah dilakukan disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji properties bioetanol, premium dan campuran E5, E10 dan E15 didapatkan
  - Densitas dan viskositas bioetanol dan campurannya relatif lebih tinggi dibandingkan premium
  - Nilai kalor bawah bioetanol dibandingkan premium lebih rendah, yaitu hanya sebesar 56%.
  - Bilangan oktan bioetanol dibandingkan premium lebih tinggi, yaitu sebesar 1,23%
  - Bioetanol memiliki unsur oksigen didalamnya sampai 34,7% .
2. Berdasarkan uji unjuk kerja dan emisi didapatkan hasil sebagai berikut :
  - Torsi tertinggi didapatkan oleh campuran E10 dengan kenaikan sebesar 2,40% dibandingkan dengan premium
  - Daya tertinggi didapatkan oleh campuran E10 dengan kenaikan sebesar 2,94% dibandingkan dengan premium
  - Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc)terendah didapatkan oleh campuran E10 dengan penurunan sebesar 4,14% dibandingkan dengan premium
  - Bmep tertinggi didapatkan oleh campuran E10 dengan kenaikan sebesar 2,72% dibandingkan dengan premium
  - Emisi gas CO terendah didapatkan oleh campuran E10 dan E15 dengan penurunan sebesar 15,30% dibandingkan dengan premium
  - Emisi gas HC terendah didapatkan oleh campuran

- E10 dengan penurunan sebesar 11,79% dibandingkan dengan premium
- Karakteristik minyak pelumas untuk bahan bakar E5, E10 dan E15 relatif stabil seperti bahan bakar premium, tidak terjadi keausan dan korosi pada mesin maupun kerusakan pada karet seal
3. Berdasarkan uji durability 5000 km didapatkan hasil sebagai berikut:
- Pencampuran bioetanol sampai 10% dapat menaikkan besarnya jarak tempuh per liter bahan bakar, yaitu 2,02% pada campuran E5 dan 4,12 % pada campuran E10, sedangkan pada campuran 15% menaikkan konsumsi bahan sampai 3,43%.
  - Pencampuran bioetanol pada premium cenderung menurunkan suhu operasional mesin, yaitu mencapai 3,02% pada campuran 15%.
4. Berdasarkan visualisasi ruang bakar setelah dijalankan 5000 km dihasilkan hal-hal sebagai berikut:
- Pemakaian bahan bakar E5, E10 dan E15 menghasilkan pengotoran relatif lebih tipis dibandingkan bahan bakar premium
  - Sifat pengotor pada bahan bakar E5, E10 dan E15 berwarna lebih kecoklatan dan bersifat tidak lebih lengket (lebih mudah dibersihkan)
  - Secara keseluruhan penambahan bioetanol sampai 15% tidak mengalami perubahan pada kondisi operasional mesin, baik itu tempertur mesin, tarikan maupun penyalaan mesin saat kondisi dingin sehingga secara teknis dapat dikatakan operasionalnya lancar dan tidak terkendala.

## **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Ketelitian dari alat ukur perlu diperhatikan agar hasil penelitian lebih akurat
2. Untuk uji durability, pengisian worksheet per harinya harap diperhatikan agar kondisi operasional mobil dapat

terus teramati

## DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral [2006], "Kebijakan Energi Nasional", Rakornas Tentang Revitalisasi Pendidikan, Bio Energi dan Penanganan Bencana Alam, Agustus, Jakarta.
2. Kawano, D. Sungkono. 2011. Motor Bakar Torak (Bensin). Surabaya: itspress
3. Mathur, M. L. dan Sharma, R. P. 1980. A Course in Internal Combustion Engines. New Delhi: Dhanpat Rai & Sons, 3rd Edition..
4. Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. 2006. Mesin Konversi Energi. Yogyakarta : Andi.
5. Jeuland, N. Dan Montagne. X. 2004. Potentially of Ethanol as a Fuel for Dedicated Engine, Cedex: Institut Francais du Petrole
6. Tjokrowisastro, Eddy Harnady dan Utomo, BKW. 1990. Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
7. Treshow, Michael. 1985. Air Pollution and Plant Life. USA: Preface Ltd.
8. Turns, S. R. 1996. An Introduction To Combustion Concepts and Application, McGraw Hill
9. Encyclopedia Britannica, 4 stroke otto cycle, [www.EncyclopediaBritannica.co.uk](http://www.EncyclopediaBritannica.co.uk)  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol>
10. Pratomo, Rinto Yoga, 2008. Analisa Performa Sepeda Motor 4 Langkah 1 Silinder Fuel Injection 125 cc terhadap Variasi Campuran Premium-Ethanol (E10-E30), Depok: Universitas Indonesia.
11. Winarno, Joko, 2011. Studi Eksperimental Penambahan Bioethanol pada Bahan Bakar

- pertamax terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin,  
Yogyakarta: Universitas Janabadra.
12. Widagdo, Yoga Dwi, 2013. Pengaruh Penambahan Ethanol (5-20%) Pada Premium Terhadap Unjuk Kerja Mesin Injeksi Multi Silinder, Surabaya: Institut Tekonologi Sepuluh Nopember
  13. Setiyawan, Atok, 2012. Kajian Eksperimental Pengaruh Etanol Pada Premium terhadap Karakteristik Pembakaran Kondisi Atmosferik Dan Bertekanan Di Motor Otto Silinder Tunggal Sistem Injeksi, Jakarta: Universitas Indonesia.
  14. Gao Jian, Deming Jian, et.al. [2007],” Spray properties of alternative fuels: A comparative analysis of ethanol-gasoline blends and gasoline, Fuel, Vol. 86, Issue 10-11, July-August, pp 1645-50\*).
  15. Hsieh Wei-Dong, Rong-Hong Chen, et.al. [2002],”Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels”, Atmospheric Environment (36), pp. 403,10, Pergamon.
  16. Takeshita, E.V., R.V.P. Rezende, S.M.A Guelli U. De Souza, et.al [2008],”Influence of solvent addition on the physicochemical properties of Barzilian gasoline”, Fuel Vol 87, pp. 2168-77,
  17. Elsevier. Da Silva R., Renanto Cataluna, E.W. de Menezes [2005],”Effect additives on the antiknock properties and Reid vapour pressure og gasoline”, Fuel Vol 84., pp. 951-9, Elsevier
  18. Da Silva R., Renanto Cataluna, E.W. de Menezes [2005],”Effect additives on the antiknock properties and Reid vapour pressure og gasoline”, Fuel Vol 84., pp. 951-9, Elsevier
  19. Al-Hasan M [2003],”Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust

- emissions” Journal of Energy Conversion and Management (44) 1547-61, Pergamon.
20. Bayraktar H [2007],”Theoretical investigation of flame propagation process in an SI engine running on gasoline-ethanol blends”, Renewable Energy Vol. 32, pp. 758-71.
  21. Topgul Tolga, Huseyin Serdar Yucesu, et.al [2006],”The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions”
  22. Takeshita, E.V., R.V.P. Rezende, S.M.A Guelli U. De Souza, et.al [2008],”Influence of solvent addition on the physicochemical properties of Brazilian gasoline”, Fuel Vol 87, pp. 2168-77, Elsevier
  23. Bayraktar H. [2005]. “Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines”. Renew Energy 2005;30:1733-47
  24. G. Najafi, B. Ghobadian, T. Tavakoli, D.R. Buttsworth (2009), “Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network”, Elsevier

## RIWAYAT PENULIS



Pasca Hariyadi Winanda, dilahirkan di Bandung -- kota yang konon katanya diciptakan saat Tuhan tersenyum – 23 tahun yang lalu. Penulis menghabiskan masa kecilnya di Subang sebelum akhirnya diterima di SMAN 8 Bandung. Penulis yang saat masa remaja sempat bercita-cita menjadi *aeronautic engineer* ini kemudian melanjutkan studinya di Teknik Mesin ITS hingga akhirnya lulus dengan predikat sangat memuaskan lima tahun kemudian. Selama menempuh masa studi penulis fokus pada bidang konversi energi di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar. Semasa kuliah, selain buku Tugas Akhir ini, penulis juga telah menghasilkan buku Diktat Mekanika Patahan.

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis juga aktif di berbagai kegiatan di luar, seperti Lentera Harapan Surabaya, Kemensospol BEM ITS, UKM WE&T ITS, LPM Satu Kosong ITS, Mahagana ITS, Komunitas Aku Peduli Cak!, Komune Rakapare, HMM ITS dan tentunya menjabat sebagai Steering Committee POROS HMM ITS 2013. Dengan didasari adanya keinginan untuk melakukan pengembangan dan riset di bidang teknologi, penulis mendedikasikan tugas akhirnya pada bidang otomotif dengan tema teknologi untuk penggunaan bahan bakar alternatif. Untuk pengembangan studi selanjutnya, penulis berencana melanjutkan studi di bidang *renewable energy* sebagai bagian dari kontribusi penulis untuk kemajuan bidang teknologi energi terbarukan.







